



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS E TECNOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO DE SOLO E ÁGUA

GIULLIANA MAIRANA MORAIS DE SOUSA VANOMARK

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE  
ENERGIA E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO CULTIVADO NAS  
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

MOSSORÓ - RN

2016

GIULLIANA MAIRANA MORAIS DE SOUSA VANOMARK

**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE  
ENERGIA E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO CULTIVADO NAS  
CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

Tese apresentada á Universidade Federal Rural  
do Semi-Árido - UFERSA, como parte das  
exigências para obtenção do título de Doutor em  
Manejo de Solo e Água.

Orientador: Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho  
Co-Orientador: Prof. D.Sc. Bergson Guedes Bezerra

MOSSORÓ - RN  
2016

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

V272a Vanomark, Giulliana Mairana Morais de Sousa.  
Análise da relação entre os componentes do balanço de energia e da evapotranspiração do meloeiro cultivado nas condições climáticas da região de Mossoró-RN / Giulliana Mairana Morais de Sousa Vanomark. - 2016.  
95 f. : il.

Orientador: José Espínola Sobrinho.  
Coorientador: Bergson Guedes Bezerra.  
Tese (Doutorado) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em Manejo de Solo e Água, 2016.

1. Balanço de energia. 2. Evapotranspiração. 3. Coeficiente de Cultivo. 4. Necessidade hídrica. 5. Melão. I. Espínola Sobrinho, José, orient. II. Bezerra, Bergson Guedes, co-orient. III. Título.

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

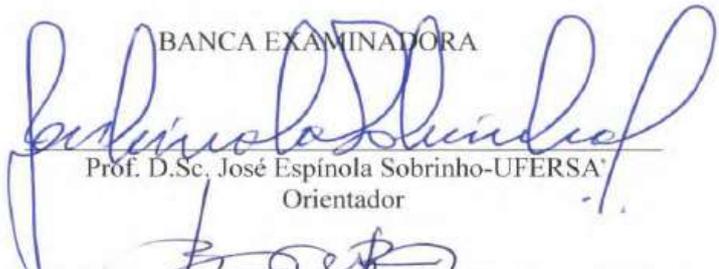
GIULLIANA MAIRANA MORAIS DE SOUSA VANOMARK

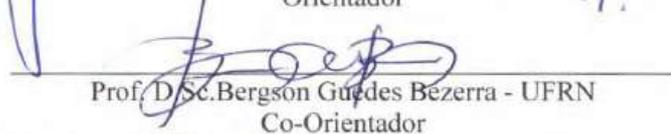
**ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA E DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO CULTIVADO NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN**

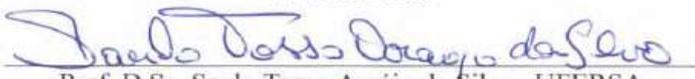
Tese apresentada á Universidade Federal Rural do Semi-Árido, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Manejo de Solo e Água.

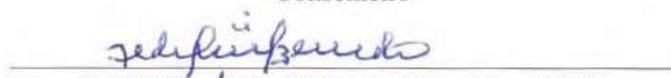
APROVADA EM: 30 de março de 2016

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. D.Sc. José Espínola Sobrinho-UFERSA  
Orientador

  
Prof. D.Sc. Bergson Guedes Bezerra - UFRN  
Co-Orientador

  
Prof. D.Sc. Saulo Tasso Araújo da Silva- UFERSA  
Conselheiro

  
Prof. D.Sc. Pedro Vieira de Azevedo – UFCG  
Conselheiro

  
Pesquisador D.Sc. José Renato Cortez Bezerra– Embrapa  
Conselheiro

## **Dedico esta Tese**

A Deus, pela fé que me mantém viva e fiel a vida honesta de trabalho e estudo.

Aos meus pais, Luiz Cordeiro e Maria do Céu, que apesar de todas as dificuldades que enfrentaram na vida sempre fizeram o possível para que eu chegasse até aqui.

Ao meu esposo, Teófilo Vanomark, ao qual serei grata pelo apoio, dedicação e incentivo, ajudando a me levantar e mostrando-me o caminho nas horas mais difíceis.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades;

A Universidade Federal Rural do Semi-Árido pela oportunidade em realizar este curso de doutorado e por ter sido à base da minha vida profissional durante tantos anos;

Ao meu querido orientador, Prof. Dr. José Espínola Sobrinho, pela dedicação, paciência e confiança, e por ter me conduzido desde a graduação até o Doutorado com a calma necessária para me ajudar a transpor os momentos difíceis;

Ao Prof. Dr. Bergson Guedes Bezerra pela contribuição científica durante o desenvolvimento deste trabalho, estando sempre à disposição. Seu auxílio para a finalização desta pesquisa foi fundamental;

Ao Prof. Dr. Saulo Tasso Araújo da Silva pelo apoio a esta pesquisa, especialmente na fase do experimento em campo;

Aos membros da banca, pelas valiosas sugestões e contribuições para melhoria desta Tese;

Aos meus colegas e amigos da UFERSA que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho, em especial a Rudah, Wesley e Izabel;

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA, por todos os ensinamentos transmitidos;

As fazendas Norfruit (Nordeste Frutas Ltda.) e Dinamarca (Dina Dinamarca Industrial Agrícola Ltda) pela parceria, viabilizando a realização desta pesquisa;

A minha família por todo amor, dedicação, compreensão e por ter me guiado para que eu fosse uma pessoa íntegra sempre me ensinando a verdade;

Ao meu esposo Teófilo Vanomark, por ter participado de todas as fases dessa caminhada, e acima de tudo pelo carinho, companheirismo e força nas horas difíceis;

Por fim, agradeço a todos que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização desta tese.

**Muito obrigada!**

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”

(Marthin Luther King)

## RESUMO

O potencial para a fruticultura e olericultura irrigadas no estado do Rio Grande do Norte é reconhecido mundialmente, e o mesmo já desponta como o maior produtor de melão (*Cucumis melo* L.) do Brasil. A produção de melão nessa região é predominantemente sob condições irrigadas, permitindo a produção o ano inteiro. O rápido aumento dos projetos de irrigação tem provocado um acréscimo na demanda hídrica, acarretando rebaixamentos acentuados dos aquíferos, de modo a gerar preocupações quanto à seguridade hídrica da região em períodos de longas estiagens, fato bastante comum no semiárido brasileiro. Assim, o objetivo desta pesquisa foi determinar a evapotranspiração diária da cultura ( $ET_c$ ) e os valores do coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) para as diferentes fases fenológicas da cultura do meloeiro na região de Mossoró/RN, utilizando o método micrometeorológico da razão de Bowen (BERB). O trabalho foi realizado em duas áreas de cultivo comercial de melão, localizadas na Zona Rural de Mossoró/RN. O experimento constou da determinação dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) utilizando o método da razão de Bowen (BERB). A fase de campo foi instalada em dois ciclos consecutivos da safra de 2012. Os coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) foram determinados pela razão entre a evapotranspiração da cultura pelo método BERB ( $ET_{BERB}$ ) e a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), sendo esta estimada a partir de dados coletados na estação meteorológica do INMET localizada em uma das áreas. A  $ET_o$  foi calculada segundo a equação de Penman-Monteith, parametrizada pela FAO. Indicadores de desempenho foram utilizados para comparar a  $ET_{BERB}$  com a  $ET_{FAO}$ . Observou-se que os valores de  $LE/R_n$  foram superiores a 60%,  $G/R_n$  foi em média 11% e a média de  $H/R_n$  foi de 21%. A  $ET_c$  variou de 264,79 mm a 362,19 mm. Os resultados do  $K_{c-inicial}$  foram mais altos, e os do  $K_{c-médio}$  e  $K_{c-final}$  mais baixos, quando comparados aos valores do  $K_{c-FAO}$  das mesmas fases fenológicas, e as diferenças médias observadas foram de 43, 8 e 7% para as fases inicial, média e final, respectivamente. Os coeficientes de cultivo gerados pelo método BERB variaram, para o estágio inicial de 0,27 a 0,32; para o estágio médio de 0,84 a 0,89 e para o estágio final de 0,56 a 0,66. A metodologia do BERB possibilitou a obtenção da evapotranspiração e de coeficientes de cultivo compatíveis com a tradicional metodologia do Manual 56 da FAO para Irrigação e Drenagem. Entretanto, houve divergência entre os métodos na fase inicial da cultura, o que proporcionou a  $ET_{BERB}$  total ser de até 5% mais elevada que a  $ET_{FAO}$ .

**Palavras-chave:** Razão de Bowen, semiárido, recursos hídricos.

## ABSTRACT

The potential for irrigated orcharding and horticulture in Rio Grande do Norte state is recognized worldwide, and it is shaping as the largest melon producer (*Cucumis melo L.*) in Brazil. Melon production in this region is predominantly under irrigated conditions, allowing the production all year. The rapid increase in irrigation projects has led to an increase in water demand, leading to sharp downgrades of aquifers so as to generate concerns about water security in the region in periods of long droughts, fact quite common in the Brazilian semiarid region. The objective of this research was to determine the daily crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) and the values of crop coefficient (K<sub>c</sub>) for the different phenological phases melon crop in the region of Mossoró/RN, using the micrometeorological method of Bowen ratio (BERB). The study was conducted in two areas of commercial melon cultivation, located in the Rural Mossoró/RN Zone. The experiment consisted of the determination of the components of energy balance and crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) using the method of Bowen ratio (BERB). The field phase was installed in two consecutive cycles of the harvest 2012. The crop coefficients (K<sub>c</sub>) were determined by the ratio between the crop evapotranspiration by BERB method (ET<sub>BERB</sub>) and reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>), is being estimated from data collected in the meteorological station of INMET located in one area. The ET<sub>o</sub> was calculated using the Penman-Monteith parameterized by FAO. Performance indicators were used to compare the ET<sub>BERB</sub> with ET<sub>FAO</sub>. It was observed that the LE/Rn values were above 60%, G/Rn averaged 11% and the mean H/Rn was 21%. The ET<sub>c</sub> varied from 264.79 mm to 362.19 mm. The K<sub>c</sub>-initial results were higher, and the K<sub>c</sub>-middle and lower K<sub>c</sub>-end, compared to K<sub>c</sub>FAO values of the same phenological stages, and the average differences observed were 43, 8 and 7% for stages initial, middle and final, respectively. Cultivation coefficients generated by the method BERB varied, for the initial stage of 0.27 0.32; to the middle stage of the 0.89 and 0.84 for the final stage of 0.56 0.66. The methodology of BERB enabled the obtaining of evapotranspiration and crop coefficients compatible with the traditional methodology of the FAO Manual 56 for Irrigation and Drainage. However, there was disagreement between the methods in the early stage of culture, which provided full ET<sub>BERB</sub> be up to 5% higher than the ET<sub>FAO</sub>.

**Keywords:** Bowen ratio, semi-arid, water resources.

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO 2 - BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO IRRIGADO, EM MOSSORÓ-RN**

- Figura 2.1: Radiação solar global ( $R_g$ ) (A) e déficit de pressão de vapor d'água ( $e_s - e_a$ ) (B) registrados no primeiro e segundo ciclos do melão, na estação do INMET localizada na zona rural de Mossoró-RN, em 2012.....43
- Figura 2.2: Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) (A) e precipitação (P) (B) registradas no primeiro e segundo ciclo do melão, na estação do INMET localizada na zona rural de Mossoró-RN, em 2012.....44
- Figura 2.3: Variação média diária dos componentes do balanço de energia determinados pelo método BERB no primeiro (A) e segundo (B) ciclo, na Área 1, distribuídos nos estádios fenológicos da cultura do meloeiro: I, estágio inicial; II, estágio de crescimento vegetativo; III, estágio de frutificação (médio); IV, estágio final, em Mossoró – RN, 2012.....49
- Figura 2.4: Variação média diária dos componentes do balanço de energia determinados pelo método BERB no primeiro (A) e segundo (B) ciclo, na Área 2, distribuídos nos estádios fenológicos da cultura do meloeiro: I, estágio inicial; II, estágio de crescimento vegetativo; III, estágio de frutificação (médio); IV, estágio final, em Mossoró – RN, 2012.....50

### **CAPÍTULO 3 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA PARA O MELOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ/RN**

Figura 3.1: Variação sazonal da Evapotranspiração ( $ET_{C(BERB)}$ ) e do Índice de área foliar (IAF) observados no primeiro ciclo da Área 1 (A) e da Área 2 (B) e no segundo ciclo da Área 1 (C) e da Área 2 (D), em Mossoró/RN, 2012.....70

Figura 3.2: Evapotranspiração do meloeiro obtida com o Balanço de Energia pela Razão de Bowen ( $ET_{BERB}$ ) e pelo produto  $ET_o \times K_{cFAO} = ET_{FAO}$ , para o primeiro (A) e segundo (B) ciclos da Área 1 e primeiro (C) e segundo (D) ciclos da Área 2, em Mossoró – RN, 2012.....73

Figura 3.3: Coeficientes de cultivo gerados pelo método BERB (valores pontuais em círculos, valores médios para cada estágio em linha contínua) e curva dos coeficientes de cultivo estimados pelo método FAO para o primeiro (A) e segundo (B) ciclos da Área 1 e primeiro (C) e segundo (D) ciclos da Área 2, em Mossoró – RN, 2012.....75

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO 2 - BALANÇO DE ENERGIA E EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO MELOEIRO IRRIGADO, EM MOSSORÓ-RN**

Tabela 2.1: Descrição das parcelas avaliadas nas duas áreas estudadas e nos dois ciclos do meloeiro: área da parcela (ha), variedade cultivada, espaçamento (m), datas de plantio, colocação e retirada da manta e início da colheita, em Mossoró-RN, 2012.....36

Tabela 2.2: Duração dos estádios de desenvolvimento do meloeiro cultivado nas duas áreas e nos dois ciclos estudados, em Mossoró-RN, 2012.....40

Tabela 2.3: Médias mensais da Radiação solar (Rad.), Temperatura mensal do ar (Tar), umidade relativa (UR), velocidade do vento a 2 m ( $u_2$ ), déficit de pressão de vapor (DPV), evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), e precipitação mensal (P) observada durante a estação de crescimento do melão em Mossoró, 2012.....41

Tabela 2.4: Precipitação (P), Irrigação (I) e valores médios da partição do balanço de energia, fração evaporativa ( $\Lambda$ ) e índice de área foliar (IAF) para cada estágio fenológico em cada ciclo da cultura do meloeiro, em Mossoró-RN, 2012.....46

### **CAPÍTULO 3 - EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA PARA O MELOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ/RN**

Tabela 3.1: Descrição das parcelas avaliadas nas duas áreas estudadas e nos dois ciclos do meloeiro: área, variedade cultivada, espaçamento, datas de plantio, colocação e retirada da manta e início da colheita, em Mossoró-RN, 2012.....60

Tabela 3.2: Duração dos estádios de desenvolvimento do meloeiro cultivado nas duas áreas e nos dois ciclos estudados, em Mossoró-RN, 2012.....65

Tabela 3.3: Médias mensais da Radiação solar (Rad.), Temperatura mensal do ar (Tar), umidade relativa (UR), velocidade do vento a 2 m ( $u_2$ ), déficit de pressão de vapor (DPV), evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), e precipitação mensal (P) observada durante a estação de crescimento do melão em Mossoró, 2012.....66

Tabela 3. 4: Índice de área foliar (IAF) para cada estágio fenológico da cultura do meloeiro, nas duas áreas estudadas em Mossoró-RN, 2012.....67

Tabela 3.5: Valores médios diários da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), evapotranspiração do meloeiro ( $ET_{c(BERB)}$  e  $ET_{c(FAO)}$ ) e lâmina de irrigação (I), todas em mm, para os estádios fenológicos do meloeiro, nos dois ciclos consecutivos, em Mossoró-RN, 2012.....68

Tabela 3.6:  $K_{cb-FAO}$  e  $K_{c-local}$  para a cultura do meloeiro em Mossoró/RN, 2012.....75

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1- INTRODUÇÃO GERAL E REFENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>4</b>
1.2.1 O cultivo do meloeiro.....	4
1.2.2 Importância econômica da cultura do melão.....	6
1.2.3 Necessidade hídrica das culturas.....	9
1.2.4 Manejo da irrigação.....	11
1.2.5 Evapotranspiração (ET).....	13
1.2.6 Balanço de energia com base na Razão de Bowen.....	16
1.2.7 Coeficiente de Cultura (Kc).....	21
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO 2 – RELAÇÕES ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA EM UM CULTIVO DE MELÃO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN.....</b>	<b>31</b>
<b>2.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>33</b>
<b>2.2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
2.2.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	35
2.2.2 Práticas culturais e irrigação.....	35
2.2.3 Componentes do balanço de energia.....	37
<b>2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>40</b>
2.3.1 Condições climáticas no período do experimento.....	40
2.3.2 Balanço de energia e evapotranspiração.....	45
<b>2.4. CONCLUSÕES .....</b>	<b>51</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>
<b>CAPÍTULO 3 – EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA PARA O MELOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ/RN.....</b>	<b>55</b>
<b>3.1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>57</b>
<b>3.2. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>59</b>
3.2.1 Características da área experimental.....	59
3.2.2 Práticas de cultivo e irrigação.....	59
3.2.3 Evapotranspiração do meloeiro.....	60

3.2.4 Evapotranspiração de referência - ETo.....	62
3.2.5 Coeficiente de cultura (Kc).....	62
3.2.6 Indicadores de desempenho.....	63
3.2.7 Índice de área foliar (IAF).....	64
<b>3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>65</b>
3.3.1 Evapotranspiração da cultura.....	65
3.3.2 Coeficiente de cultivo (Kc).....	74
<b>3.4. CONCLUSÕES</b> .....	<b>78</b>
<b>LITERATURA CITADA</b> .....	<b>79</b>

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO GERAL E REFERENCIAL TEÓRICO

#### 1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O agropolo Assu-Mossoró-Baraúna, localizado no estado do Rio Grande do Norte, é reconhecido pela intensa produção de fruticultura e olericultura irrigadas, sendo o maior produtor de melão (*Cucumis melo L.*) do Brasil, responsável por mais da metade de toda a produção nacional (Miranda et al., 2003; Medeiros et al., 2011a). A área plantada no referido agropolo é da ordem de 12.000 ha, e é responsável pela geração de aproximadamente 28.000 empregos diretos e cerca de 52.000 indiretos (Medeiros et al., 2011b).

Quase a totalidade da produção de melão nessa região semiárida brasileira é destinada ao mercado externo. Por essa razão, a cultura do melão tem se tornado cada vez mais rentável e de rápido retorno econômico (Medeiros et al., 2012). A elevada produção de melão nessa região é atribuída por Medeiros et al. (2011b) às condições edafoclimáticas da região, as quais favorecem o cultivo dessa cultura, contribuindo para o bom desenvolvimento e crescimento das plantas e propiciando qualidade excepcional aos frutos.

A produção de melão na região de Assu-Mossoró-Baraúna é predominantemente sob condições irrigadas, pois as irregularidades das chuvas não permitem uma produção sustentável para condições de sequeiro. Outro fato preponderante é que a produção em condições irrigadas permite o cultivo o ano inteiro, desde o período chuvoso (condições de sequeiro com uso de irrigação complementar quando necessário) ao período seco (sobre condições estritamente irrigadas).

A principal fonte de água para irrigação na região de Assu-Mossoró-Baraúna é subterrânea da bacia sedimentar Potiguar, cuja captação é feita através de poços de aproximadamente 100 m de profundidade no calcário Jandaíra (Medeiros et al., 2003; Bezerra et al., 2012). A bacia sedimentar Potiguar localiza-se na margem costeira norte do estado do Rio Grande do Norte e nordeste do estado do Ceará; sua extensão total abrange uma área de cerca de 50.000 km<sup>2</sup>, englobando suas porções emersas e imersas (Feitosa & Feitosa, 2011). Ainda de acordo com Feitosa & Feitosa (2011), os principais aquíferos que compõem a bacia sedimentar Potiguar são as formações Jandaíra e Assu; o aquífero Jandaíra se localiza na porção superior da sequência carbonática da formação Jandaíra, com profundidade variando entre 50 a 250 m, enquanto que a formação Assu é constituída de arenitos, com profundidade variando entre 400 e 1.000 m.

A expansão dos projetos de irrigação tem provocado um aumento substancial na demanda de água nessa região (Feitosa & Feitosa, 2011). O aumento da exploração tem acarretado rebaixamentos acentuados desses aquíferos, de modo a gerar preocupações quanto à seguridade hídrica da região em períodos de longas estiagens, fato bastante comum no semiárido brasileiro.

A agricultura irrigada responde por aproximadamente 50% do total da produção mundial de alimentos, constituindo-se assim no maior usuário de água em escala global (Fereris & Soriano, 2007). Em regiões áridas e/ou semiáridas o montante de água consumido pelas culturas irrigadas ultrapassa os 70% do total de água potável disponível, com perspectivas de aumento devido a elevação vertiginosa da população mundial, e o conseqüente aumento da demanda por alimentos, e os impactos das alterações climáticas (Morison et al., 2008; Strzepek & Boehlert, 2010). Por essa razão, o uso racional da água na irrigação tem sido um tema amplamente estudado e discutido (Perry et al., 2009; Strzepek & Boehlert, 2010; Bezerra et al., 2012).

No semiárido brasileiro o manejo de irrigação deve ser criterioso, devido à escassez dos recursos hídricos e a necessidade da sustentabilidade da irrigação, visto que a mesma desempenha importante papel socioeconômico da região. Para o manejo de água na irrigação, um dos parâmetros requisitado é a determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>). A ET<sub>c</sub> pode ser derivada de inúmeros sistemas, incluindo: lisímetros, métodos micrometeorológicos, balanço hídrico no solo, fluxo de seiva, cintilômetros e através de dados de sensoriamento remoto (Allen et al., 2011).

O método micrometeorológico do balanço de energia pela razão de Bowen (BERB) é um método relativamente prático e confiável. Allen et al. (2011) afirmam que a utilização do conceito BERB (Bowen, 1926) permite resolver a equação do balanço de energia através da medição de gradientes verticais da temperatura do ar e de pressão de vapor na camada superficial logo acima da superfície de evaporação. Este método tem sido bastante utilizado para estimar a evapotranspiração a partir de diferentes sistemas de solo-vegetação e diferentes condições climáticas (Savage et al., 2009; Hou et al., 2010; Bezerra et al., 2010, 2012). Em alguns estudos, a ET<sub>c</sub> obtida de acordo com o BERB tem sido usada para determinar o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) (Hou et al., 2010; Bezerra et al., 2010).

Devido à importância sócio/econômica da irrigação para o semiárido brasileiro, especialmente para a região Oeste do estado do Rio Grande do Norte, se faz necessário a adoção de uma política de manejo de irrigação criteriosa e sustentável face a escassez hídrica da região. Assim, esta Tese tem como objetivos analisar o comportamento dos fluxos de energia e das partições do balanço de energia, visando determinar a ET<sub>c</sub> diária e a curva do coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para todo o ciclo da cultura do meloeiro na região de Mossoró no Rio Grande do Norte, utilizando o método micrometeorológico da razão de Bowen.

## 1.2. REVISÃO DE LITERATURA

### 1.2.1. O cultivo do meloeiro

O meloeiro pertence à família das cucurbitáceas, gênero *Cucumis* e espécie *Cucumis melo*. É uma dicotiledônea perene, sendo explorada como planta anual. O sistema radicular é superficial e praticamente sem raízes adventícias; o caule é herbáceo, de crescimento rasteiro ou prostrado; as folhas são pecioladas, grandes, divididas em três a cinco lobos e com pilosidade de textura aveludada; as flores são amarelas constituídas por cinco pétalas e estão presentes como imperfeitas, perfeitas ou hermafroditas em pontos diferentes da planta (Fontes & Puiatti, 2005).

A temperatura é o principal fator climático que afeta diretamente o meloeiro, e sendo uma cultura de clima quente, necessita de temperaturas acima de 20°C para seu desenvolvimento e produção. Em regiões de clima quente e seco os frutos apresentam teor de açúcar acima de 10° Brix, sabor agradável, mais aroma e maior consistência, características desejáveis para comercialização, principalmente no mercado externo. A duração e intensidade luminosa são fatores relevantes no cultivo do meloeiro. A redução dessa intensidade ou o encurtamento do período de iluminação têm influências negativas no crescimento da planta tendo como consequência uma menor área foliar (Figueirêdo et al., 2009).

O meloeiro é bastante exigente em água e seu suprimento deve ser feito na época adequada, visando altos rendimentos e frutos de boa qualidade, não sendo muito tolerante à umidade elevada, nem a presença constante de água nas hastes de folhas. Assim, a ocorrência de chuvas no período de maturação e colheita pode provocar injúrias nos frutos e reduzir o teor de açúcar, além de favorecer as doenças fúngicas. Portanto, esta cultura deve ser cultivada no período seco, sendo a irrigação prática essencial ao sistema de produção comercial.

Segundo Costa & Silva (2003) a cultura do melão se adapta a diferentes tipos de solos, mas não se desenvolve bem naqueles de baixadas úmidas, com má drenagem, e nos tipos muito arenosos e rasos. O sistema radicular do meloeiro é, normalmente, superficial, porém, em solos profundos e bem arejados, atinge profundidades acima de 1 metro. Por isso, deve-se dar preferência a terrenos com boa exposição ao sol, escolhendo os solos férteis, com 80 cm ou mais de profundidade, de textura média (franco-arenoso ou areno-argiloso), com boa porosidade, que possibilitem maior desenvolvimento do sistema radicular, melhor infiltração da água e drenagem mais fácil.

Existem inúmeras variedades cultivadas de melão no mundo, que são classificadas em tipos e dentro destes, os híbridos. Comercialmente, os tipos são classificados como aromáticos ou inodoros. Os tipos são: Amarelo, Pele de Sapo, Cantaloupe, Gália, Honey Dew e Charentais. No Brasil predomina a produção do Tipo Amarelo, correspondendo a 90% do total (Braga Sobrinho et al., 2008). Existem 10 híbridos do melão Amarelo, dentre os quais Iracema e Goldex, de alta produtividade e qualidade, apropriados para exportação.

No estado do Rio Grande do Norte, existe uma infinidade de híbridos e cultivares de melão sendo produzidos e comercializados. No entanto, dentre as cultivares do melão amarelo que são cultivados nessa região podemos destacar o Iracema, Gold mine, Goldex, AF646 e 682, Yellow e Gold pride. Por outro lado os melões tipo Gália e Cantaloupe também merecem destaque, bem como a cultivar do tipo HoneyDew.

O cultivo do melão, como de outras hortaliças, apresenta como característica peculiar o uso de mulch plástico sobre o solo. Esta prática apresenta vários benefícios tais como: previne a ocorrência de pragas, doenças e plantas invasoras e impede o contato dos frutos com o solo (Figueirêdo et al., 2008); reduz as perdas de nutrientes por lixiviação e as perdas de água por evaporação do solo (Sampaio & Araújo, 2001) e relaciona-se com o aumento do número e qualidade de frutos (Negreiros et al., 2005). Por outro lado, Figueirêdo et al. (2008) alertam que essa prática provoca aumento da temperatura do solo, o que pode contribuir para

perda da biodiversidade, além do impacto resultante da contaminação do solo com restos plásticos.

Medeiros et al. (2007) mencionam outra prática que se tornou comum entre as médias e grandes empresas do Rio Grande do Norte nos últimos anos, com intuito de controlar o ataque da mosca branca e da mosca minadora, que é a utilização de mantas de polipropileno ou tecido-não-tecido (TNT), também conhecida como agrotêxtil. Estas mantas são empregadas desde o dia da emergência das plântulas ou do transplante até o momento da floração. Sua aplicação é feita sobre aros colocados acima das fileiras de plantas, de forma que as plantas crescem protegidas por elas. A cobertura têxtil influencia o microclima das proximidades das plantas, no tocante à temperatura, radiação incidente, umidade relativa e velocidade do vento (Gimenez et al., 2002).

Essa prática tem sido explorada com os objetivos de reduzir a evaporação da água na superfície do solo; diminuir as oscilações de temperatura do solo; permitir o controle de plantas invasoras; oferecer proteção aos frutos, evitando seu contato direto com o solo; obter maior precocidade da colheita e capacidade de influir diretamente, de maneira positiva, sobre a incidência de pragas e doenças.

### **1.2.2. Importância econômica da cultura do melão**

O melão é uma hortaliça de grande expressão econômica, cultivada em diversas partes do mundo e que encontrou na região Nordeste do Brasil condições climáticas favoráveis, que proporcionam seu cultivo durante o ano todo (Pires et al., 2013). Ao longo da década passada o melão consolidou-se no semiárido nordestino, como alternativa de investimento em curto prazo, para vendas no mercado nacional e internacional.

De acordo com dados da FAO (2010), em relação à produção mundial o continente asiático apresenta 68,37% da produção mundial de melão seguido pela América com 13,90%,

Europa 11,11%, África 6,24% e Oceania 0,38%, sendo da China a primeira posição em produção mundial com 11.333.747 toneladas, apresentando uma área colhida de 365.566 ha, seguido pela Turquia com 1.611.700 toneladas e o Iran, com 1.317.600 toneladas. Na América destacam-se como os principais países de produção de melão os EUA, México, Guatemala, Brasil, Venezuela, Costa Rica, Honduras e Panamá. No continente europeu, temos a Espanha, Itália, França e Romênia. Na África, o Egito e Marrocos, e na Oceania, a Austrália, com uma produção de 76.300 toneladas. Ainda segundo dados da FAO (2010), o Brasil destaca-se na 12ª posição no ranking mundial de produção de frutos do meloeiro. A produção desses frutos no Brasil é de grande importância, em especial para a região Nordeste, que apresenta condições favoráveis para o cultivo, além da geração de emprego e renda para os Estados produtores.

Em 2012, a produção de melão no país foi de 575,4 mil toneladas, gerando, aproximadamente R\$ 475 milhões para quase 220 mil produtores (IBGE, 2013). A maior parte dessa produção, em torno de 70%, destina-se ao mercado externo, em decorrência dos hábitos alimentares brasileiros, que não incluem essa fruta em seu cotidiano. A colheita no Brasil ocorre, em sua maioria, entre os meses de setembro e março, embora o melão tenha potencial para ser produzido o ano todo. Essa característica oferece aos produtores brasileiros uma oportunidade comercial durante a entressafra na Espanha, mais importante fornecedor mundial, que vai de setembro a abril, ressaltando que os períodos iniciais são os mais vantajosos, pois, a partir de janeiro, inicia-se a produção de países centro-americanos, em especial, da Costa Rica, de Honduras e do Panamá, representando outros concorrentes.

Embora exista produção de melão em todos os estados brasileiros, o cultivo para exportação se realiza quase em sua totalidade, no Nordeste. Essa cultura produz em média no Brasil 25,4 t/ha, enquanto no Nordeste 27,9 t/ha, evidenciando um diferencial competitivo para essa região. Já o Sudeste e o Norte apresentam rendimentos de 23,5 t/ha e 20,6 t/ha, respectivamente (IBGE, 2013). Segundo Dantas et al. (2013) em relação ao consumo a nível

nacional destaca-se a região sudeste como maior centro consumidor da fruta, enquanto no mercado internacional o maior consumo do melão brasileiro concentra-se na Europa e nos Estados Unidos.

Na região Nordeste, os estados do Ceará e Rio Grande do Norte foram responsáveis por 80,59% da produção nacional, com participações individuais de 28,73% e 51,86%, respectivamente (IBGE, 2013). Essa produção concentra-se em municípios localizados na faixa norte limítrofe entre os dois estados, com destaque para Baraúna e Mossoró, no Rio Grande do Norte, e Aracati e Icapuí, no Ceará. A relevância desses estados é ainda maior em relação às exportações de melão, pois em 2012 alcançaram quase 99% do valor praticado pelo Brasil.

Dessa forma, o Rio Grande do Norte, sobretudo a região do agropólo Assu-Mossoró-Baraúna, tem se destacado como principal região produtora de melão do país devido às condições edafoclimáticas e disponibilidade de água superficial e subterrânea (Gurgel et al., 2008). Esse agropólo está localizado na mesorregião Oeste Potiguar no Estado do Rio Grande do Norte, abrangendo oito municípios, dos quais, Baraúna, Grossos, Mossoró, Tibau, Assú, Apodi, Gov-Dix-Sept Rosado e Upanema, compondo uma área total de 8.107 Km<sup>2</sup>. A região é banhada pelas bacias Piranhas/Assú e Apodi/Mossoró, encontrando a barragem Armando Ribeiro Gonçalves e a barragem de Santa Cruz no Apodi, ambas com capacidade para 2,4 bilhões de m<sup>3</sup> e 600 milhões de m<sup>3</sup> de água, respectivamente. Dando dessa forma, capacidade para o desenvolvimento da fruticultura, pela facilidade da captação de água nos respectivos reservatórios.

Conforme Crisóstomo et al. (2008) o agronegócio do melão brasileiro é um exemplo típico de evolução rápida para a inserção no mercado global, tendo a participação de grandes, médios e pequenos produtores. Além de promover a diversificação das atividades agrícolas, o melão possui papel socioeconômico de grande importância nas regiões produtoras, contribuindo de forma significativa para a mudança do quadro social daqueles que têm na

agricultura sua forma de sustento. Assim, a fruticultura é uma alternativa para inserção do pequeno produtor no cenário agrícola (Silva et al., 2014).

Apesar da importância econômica da cultura do melão para o país, a produtividade ainda é bastante variável entre os produtores e, na maioria das vezes, baixa em relação ao potencial produtivo da cultura, o que sinaliza necessidade de pesquisas para definir as melhores tecnologias de manejo capazes de aumentar a produtividade e a qualidade dos frutos, permitindo que se torne mais competitivo nos mercados nacional e internacional (Silva et al., 2014).

### **1.2.3. Necessidade hídrica das culturas**

Com grande parte de seu território inserida em clima semiárido, a região Nordeste, em particular o estado do Rio Grande do Norte, convive com características climáticas bem peculiares, onde quadros de estiagem são frequentes, uma vez que o período chuvoso se restringe ao primeiro semestre. O déficit hídrico na região pode chegar a até 800 mm ano<sup>-1</sup>, tornando a irrigação peça fundamental para a produção agrícola (Cavalcante Junior et al., 2013).

Essa realidade aponta para a importância da adoção da prática de irrigação objetivando uma menor dependência das condições climáticas e aumentando as chances de obter uma colheita mais rentável. Segundo Fernandes et al. (2012) para que se possa alcançar sucesso na adoção dessa prática, é essencial que se tenha um correto manejo buscando suprir a necessidade hídrica da cultura na medida certa, sem déficit, nem excesso.

Dessa forma, a determinação da quantidade de água necessária para as culturas é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, dimensionamento e manejo de qualquer sistema de irrigação. Segundo Faria et al. (2012), na agricultura irrigada, a decisão sobre o momento apropriado e a quantidade adequada de água a ser aplicada, muitas vezes, é

baseada no conceito prático do agricultor, acarretando o déficit ou o excesso hídrico para a cultura.

O consumo de água de uma cultura agrícola depende de muitas variáveis do sistema solo-planta-clima que têm efeitos isolados e interativos, dos quais se pode citar: condições climáticas ao longo do ciclo, duração das fases fenológicas e do ciclo total da cultura, variações dos elementos climatológicos em cada fase, disponibilidade hídrica na zona radicular, condutividade hidráulica do solo, volume de solo explorado pelo sistema radicular, disponibilidade de nutrientes e condições de sanidade da cultura, assim como dos sistemas de cultivo adotados. Portanto a medição da necessidade hídrica envolve também parâmetros ligados às plantas e as condições agrometeorológicas em nível de superfície. Uma vez que as plantas integram o sistema solo-água-atmosfera, tais parâmetros indicam com melhor precisão a condição hídrica das culturas (Gomide et al., 2012).

A necessidade hídrica do meloeiro pode variar com o clima, variedade cultivada, densidade de plantio, manejo de irrigação e cobertura do solo adotada. Segundo Miranda et al. (2008), para o meloeiro irrigado por gotejamento no Nordeste do Brasil, o consumo de água oscila de 240 a 350 mm por ciclo. Miranda et al. (1999) determinaram, para região litorânea do Ceará, evapotranspiração de 251 mm para todo ciclo em cultivo do tipo Gold Mine, registrando diferenças entre os coeficientes de cultivo determinados em sua pesquisa com os sugeridos no Manual 56 da FAO para Irrigação e Drenagem. Os autores sugeriram a realização de mais pesquisas com outras variedades para levantar dados mais seguros para o manejo da irrigação na região. Já Melo et al. (2011) objetivando determinar a evapotranspiração e a produção do melão Gália irrigado na região de Mossoró encontraram uma lâmina de 204,5 mm.

#### 1.2.4. Manejo da irrigação

Diante da preocupação mundial com o uso racional da água, e considerando que a irrigação é a atividade que mais usa esse recurso natural, tornou-se necessário, para a otimização e maior eficiência na utilização da água na produção agrícola, a aplicação de metodologias que possibilitem a obtenção da produção máxima com um mínimo possível de água (Oliveira et al., 2010).

Silva et al. (2012) relatam que o manejo da irrigação é um dos fatores indispensáveis para o avanço e sucesso na produção, tanto na produtividade como na qualidade dos frutos, os parâmetros climáticos como temperatura, umidade relativa, insolação e velocidade do vento, associado ao estágio fenológico das culturas, textura, cobertura do solo e índice de área foliar, são variáveis determinantes no cálculo da necessidade de água à cultura e a frequência de irrigação.

Pelo grande avanço alcançado ao longo dos últimos anos, o cultivo do meloeiro possui relevante importância para a fruticultura brasileira; assim, torna-se cada vez mais urgente o uso adequado de tecnologias para alavancar ainda mais a produtividade e melhorar a qualidade de frutos. Dada a escassez de pesquisas de escopo regional desse interesse, buscam-se aquelas que consideram certos aspectos de irrigação, sobretudo nas relações solo, água e planta, para determinar o melhor manejo de irrigação para a cultura (Pereira Filho et al., 2014).

Segundo Valnir Júnior et al. (2013) o manejo da água, em função de lâminas e frequência de aplicação adequada à cultura do meloeiro constitui meta para o rendimento economicamente viável. Miranda et al. (2008) recomendam a irrigação por gotejamento, pela maior eficiência no que diz respeito à redução das perdas por evaporação, pela economia de mão de obra e boa aplicação de fertilizantes. Segundo Silva et al. (2012) o aumento do uso da água e da demanda de alimentos nas áreas urbanas, e industriais tem exigido o aprimoramento

de técnicas nos sistemas de produção agrícola, de modo que permitam melhorar a segurança na produção dos cultivos e reduzir o volume de água aplicado.

Em áreas do conhecimento, como a meteorologia e a hidrologia, a quantificação das perdas de água de uma superfície para a atmosfera é de suma importância. Neste contexto, para um manejo adequado dos recursos hídricos, em regiões onde a disponibilidade hídrica é irregular, ao longo do ano, informações quantitativas das ofertas e demandas hídricas (como a evapotranspiração) são indispensáveis (Villela & Mattos, 1975)

Segundo Barreto et al. (2004), na estimativa da exigência hídrica pelas plantas, podem ser adotadas metodologias distintas ou a integração delas, ou seja, pela demanda atmosférica, pelo monitoramento da umidade do solo e por meio de medidas diretas do fluxo de água na planta. Essas metodologias objetivam apresentar alternativas do manejo da água nas culturas irrigadas em qualquer estágio fenológico da planta. Dessa forma, torna-se oportuno o estudo de parâmetros que auxiliem na tomada de decisão.

Oliveira et al. (2010) relatam que o conhecimento da evapotranspiração das culturas (ETc) é fundamental para que se tenha um manejo adequado da irrigação, principalmente em regiões como o Semiárido nordestino, em que a escassez e a irregularidade pluviométrica são os fatores limitantes da produção agrícola. Portanto, a evapotranspiração consiste numa das maiores preocupações na medição das variáveis climatológicas, tendo em vista que a perda de água da superfície terrestre tem muita influência no desenvolvimento das culturas, principalmente nas regiões áridas e semi-áridas onde o déficit de água é bem caracterizado, e a irrigação desempenha papel importante na suplementação de água exigida por cada cultura.

### 1.2.5. Evapotranspiração (ET)

O termo evapotranspiração (ET) é empregado para designar o processo de evaporação e transpiração ocorrendo simultaneamente (Rocha et al., 2011). Vários autores referem-se a ET e segundo Pereira et al. (1997) a primeira citação foi efetuada por Thornthwaite, no início da década de 40.

Segundo Ferreira (2014), a ET é a forma pela qual a água presente na superfície do solo, nos corpos de água ou nos vegetais é transportada na forma de vapor para a atmosfera, definindo um fluxo de calor e de massa entre a superfície e a atmosfera. Em escala global, esse fluxo define o clima e garante o equilíbrio energético do planeta. Em pequena escala define o consumo hídrico de culturas ou de bacias hidrográficas, assim como o seu excedente, quando aliado aos processos de reposição de água no sistema, que resulta na drenagem da água e que interfere diretamente na qualidade e disponibilidade da água no sistema. Desta forma, quantificar esses fluxos permite estabelecer estratégias de manejo dos recursos hídricos e edáficos de forma racional e sustentável e torna a estimativa do consumo hídrico de culturas fundamental à maximização da produção e dos lucros, assim como à redução dos impactos ambientais advindos do processo de produção agrícola.

Dentre as várias definições de evapotranspiração existentes na literatura temos a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) que, segundo Doorenbos & Pruitt (1977), consiste na evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira (normalmente gramado), em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, com altura entre 8 e 15 cm (IAF~ 3), sem restrição hídrica e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Nesta superfície são feitas as medições meteorológicas para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>).

Dessa forma, a ETc é a evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu desenvolvimento, sem restrição hídrica, em condições ótimas de crescimento e com ampla área de bordadura para evitar a advecção de calor sensível (H) de áreas adjacentes. Assim a ETc depende das condições meteorológicas, expressas por meio da ETo, do tipo de cultura (maior ou menor resistência à seca) e da área foliar.

A ETo engloba os fenômenos físicos e fisiológicos que transformam em vapor a água presente em plantas, superfícies de solos, lagoas, rios e oceanos, sendo um processo reverso ao da precipitação (Thornthwaite, 1948; Pereira et al., 1997; Chang, 2002; Ward & Trimble, 2004; Kobiyama, 2009), e as principais variáveis meteorológicas que proporcionam energia para a vaporização e remoção de vapor de água, a partir de superfícies evaporantes são: radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa, velocidade do vento, déficit de pressão de vapor e nebulosidade. Destes, a radiação solar é o elemento de maior importância na demanda evaporativa da atmosfera, conseqüentemente na evapotranspiração.

Assim, a evapotranspiração é diretamente dependente da disponibilidade de energia e de água no solo, sendo a energia suprida pela radiação solar somado à energia advectiva, e a água sendo fornecida pela irrigação ou pelas chuvas. É difícil separar a ação dos fatores meteorológicos, pois os mesmos agem simultaneamente e se interrelacionam. Vila Nova (1987) relata que de maneira geral, para uma dada região, quanto maior for a energia solar, temperatura do ar e velocidade do vento, e quanto menor for a umidade relativa do ar, maior deverá ser a evapotranspiração de referência.

Existem diversos métodos para determinar a ETc, alguns mais adequados que outros em termos de precisão ou custo, ou para escalas de tempo e espaço. A ET pode ser determinada através de medidas de evaporação de tanques, de técnicas baseadas no balanço de energia à superfície ou o balanço de massa, de equações empíricas de diversos níveis de complexidade, de correlação de vórtices turbulentos ou de métodos combinados. Os métodos empíricos são resultantes das correlações entre a ET e determinados elementos

meteorológicos, enquanto que os métodos combinados consideram os efeitos conjuntos do balanço de energia com as características aerodinâmicas da superfície (Pereira et al., 1997). Allen et al. (2011) reforçam que medidas precisas, requerem sistemas com boa calibração e manutenção e, em muitos casos, conhecimento dos fenômenos físicos que governam o método de medida.

A utilização de lisímetros de pesagem tem sido classificada como ferramenta padrão em estudos de “perda” de água das culturas. Rocha et al. (2003) destacam o lisímetro de pesagem como o método mais exato na determinação da evapotranspiração. Entretanto, Melo et al. (2011) relatam que as medidas da evapotranspiração feitas utilizando-se lisímetros de pesagem acoplados a sistemas modernos de aquisição de dados apresentam alguns problemas operacionais, dificultando sua instalação em larga escala, tornando-o método padrão comparativo para teste de equações e modelos de estimativas.

De acordo com Grismer et al. (2002), existem cerca de cinquenta métodos para a estimativa da ET, os quais exigem informações meteorológicas distintas. Estes podem ser divididos de acordo com os princípios envolvidos em cinco categorias: empíricos, aerodinâmico, balanço de energia, combinados e correlação de turbilhões (Cardoso et al., 2005; Oliveira et al., 2010). Alguns métodos têm o seu uso limitado em maior escala devido às condições locais da região no qual foram desenvolvidos e outros são seguidos universalmente, como é o caso de Penman- Monteith, em consequência do seu embasamento técnico-científico. De acordo com Jensen (1973), a escolha do método para estimativa da evapotranspiração depende do clima, local e dos dados disponíveis.

Organizado para revisar e complementar os boletins 24 e 33 FAO, no boletim 56, Allen et al. (2006) recomendam enfaticamente a adoção do modelo de Penman-Monteith parametrizado como o método padrão para estimativa da ETo, por ser o que apresenta os melhores resultados em comparação às medidas obtidas em lisímetros de precisão nas diversas condições climáticas. O método de Penman-Monteith combina um termo energético,

o qual exprime a contribuição do saldo de energia ( $R_n$ ) no processo de evaporação, e um termo aerodinâmico, que indica a contribuição do ar na manutenção da demanda evapotranspirativa.

Os bons resultados deste método foram atestados por Lopèz-Urrea et al. (2006) ao testarem equações de estimativa de  $E_{To}$  em um clima semi-árido, concluindo que o método Penman-Monteith foi o mais adequado para calcular a  $E_{To}$  média diária, quando comparado às medidas lisimétricas, embora tenha produzido subestimativas consideráveis. Este método considera o efeito da rugosidade da superfície na transferência de calor e massa, bem como o efeito da resistência ao fluxo de vapor de água entre a superfície evaporante e o ar, podendo ser usado em escala horária ou diária (WMO, 2008).

Entre os métodos desenvolvidos para estimativa da ET, se ressalta também os métodos micrometeorológicos baseados no balanço de energia à superfície, caracterizados pela praticidade, aplicabilidade e precisão, podendo abranger grandes coberturas (Ferreira, 2014). Dentre os mais utilizados se destaca o balanço de energia com base na razão de Bowen (Silva et al., 2011). Esse método representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, constituindo-se, basicamente, na partição do saldo de radiação nos fluxos de calor latente e nos fluxos de calor sensível no ar e no solo (Fontana et al., 1991).

#### **1.2.6. Balanço de energia com base na Razão de Bowen**

A demanda hídrica das plantas é governada pelos balanços de radiação e de energia à superfície da cultura, que permitem conhecer a partição da energia disponível em fluxo de calor sensível e latente (Shen et al., 2004). Esta partição de energia é obtida por meio de métodos micrometeorológicos, que fornecem informações sobre a evapotranspiração da cultura ( $E_{Tc}$ ) e, em seguida, através da relação  $E_{Tc}/E_{To}$  (sendo,  $E_{To}$ , a evapotranspiração de

referência), permitem obter o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) a ser utilizado no manejo de irrigação (Teixeira et al., 2007).

Diversos estudos buscam a determinação dos componentes do balanço de energia à superfície, apresentando como alvo principal a estimativa da evapotranspiração, auxiliando o processo de tomada de decisão no sistema de produção agrícola e no manejo dos recursos hídricos. De acordo com Hernandez-Ramirez et al. (2010) esses componentes apresentam ampla aplicabilidade em diversas áreas do conhecimento, nos estudos de agricultura, hidrologia, silvicultura, modelagem atmosférica e sensoriamento remoto, sendo imprescindíveis na correta interpretação do balanço de água e do microclima local.

Bowen (1926) foi o pioneiro nos estudos do balanço de energia sobre uma superfície natural, determinando a razão entre os fluxos de calor sensível e latente emitidos por uma superfície de água, durante o processo de evaporação, em função dos gradientes de pressão de vapor e de temperatura observados sobre a superfície. Esta expressão, denominada razão de Bowen ( $\beta$ ), tornou-se um método indireto de determinação da evapotranspiração das culturas ( $E_{Tc}$ ) e, de acordo com muitos pesquisadores, é um método prático e simples, capaz de determinar de forma precisa a evapotranspiração de diversas culturas em diferentes ambientes.

A estimativa da  $E_{Tc}$  através da Razão de Bowen, no Brasil, tem sido feita, comumente através de observações com psicrômetros comuns. Villa Nova (1973) realizou o primeiro estudo do Balanço de energia/ Razão de Bowen no Brasil em uma área cultivada com arroz, utilizando psicrômetros com pares termoeletrônicos, com amostrador temporo-espacial, acoplado a um potenciômetro. Com a popularização da microeletrônica foram utilizados psicrômetros constituídos de pares termoeletrônicos, de cobre-constantan, conectados a um sistema de aquisição de dados (Cunha et al., 1996).

Com o sistema Razão de Bowen é possível registrar instantaneamente a radiação líquida, o fluxo de calor no solo e gradientes de pressão de vapor de água e temperatura do ar,

em duas alturas, permitindo a estimativa da partição do saldo de radiação. Esse método é baseado no princípio de conservação de energia (Teixeira, 2001), sendo que o balanço dos fluxos de entrada e saída de energia na área vegetada permite a determinação da energia utilizada pela cultura no processo de transferência de água para a atmosfera, na forma de vapor.

O saldo de radiação é o resultado das trocas de energia radiativa estabelecidas na interface solo-planta-atmosfera. Esse autor ainda relata que, do ponto de vista energético, o saldo de radiação pode ser considerado como a energia utilizada para transferir água da superfície do solo úmido e do interior das plantas para a atmosfera, sob a forma de vapor, podendo então, nesse caso, a evapotranspiração ser chamada de calor latente e ser expressa na forma de densidade de fluxo de energia ( $W.m^{-2}$ ). Assim, o conhecimento da evapotranspiração ou do fluxo convectivo de calor latente contribui para o correto uso de água nos cultivos, já que suas fases críticas de desenvolvimento vegetativo e reprodutivo são limitadas pelo fator hídrico.

A metodologia do balanço de energia considera que há ausência de advecção de calor sensível e que a atmosfera está em condições de neutralidade (Rosenberg et al., 1983). Com essas considerações, os valores dos coeficientes de difusão turbulenta de calor sensível ( $K_h$ ) e de vapor d'água ( $K_w$ ) são aproximadamente iguais (Verma et al., 1978). Esse método também sugere que as medições dos gradientes de temperatura e umidade devem ser realizadas dentro da camada limite do fluxo de ar, implicando na necessidade de um "fetch" com extensão mínima de 100 vezes a altura da cultura (Angus & Watts, 1984).

Este método tem sido usado para estimar a evapotranspiração dos diferentes sistemas solo-vegetação em diferentes condições climáticas (Teixeira et al, 2007; Zeggaf et al., 2008; Savage et al., 2009; Hou et al., 2010; Bezerra et al., 2010). Em alguns estudos, a  $ET_c$  obtida de acordo com o BERB tem sido usada para determinar a curva do coeficiente de cultura (Hou et al, 2010.; Bezerra et al., 2010). A aplicação generalizada deste método é atribuída

arelativa simplicidade, praticidade, robustez e precisão (Todd et al., 2000; Silva et al., 2007; Gavilan & Berengena, 2007). O BERB requer medidas de gradientes de temperatura do ar e de pressão de vapor d'água, radiação líquida e o fluxo de calor no solo para a obtenção do fluxo de calor latente e, conseqüentemente, a ETc.

Perez et al. (1999) estudaram o descarte de valores inconsistentes da razão de Bowen visando ao aprimoramento do referido método. Um dos problemas citados pelos autores foram os baixos gradientes de pressão de vapor (menores que  $0,03 \text{ kPa.m}^{-1}$ ) originários de advecção reduzida, chuvas ou após irrigação. Os autores concluíram ainda, que devem ser rejeitados os dados noturnos e obtidos após precipitação ou irrigação, e que a ocorrência de gradientes de vapor de água muito pequenos afetam a consistência das estimativas. Dessa forma, sob baixos gradientes de vapor d'água, originários de baixa velocidade do vento ou de déficit hídrico no solo, a razão de Bowen tende a valores elevados (o valor do denominador é muito baixo) inviabilizando a metodologia.

Trabalhos anteriores têm mostrado um bom desempenho da metodologia da razão de Bowen (Fontana et al., 1991; Steduto & Hsiao, 1998; Alves & Pereira, 2000). Porém Cardoso et al. (2005), mostraram que parece haver uma dependência da metodologia com relação à altura dos sensores. Provavelmente, a maior elevação dos psicrômetros facilita a ocorrência de gradientes de vapor d'água pela maior ação dos ventos. Como a quantidade de vapor de água próxima à superfície diminui com a altitude, a elevação de ambos os braços, provavelmente, contribui para diminuir o gradiente de vapor de água e a eficiência do método. Verifica-se também que sob condições úmidas, o método BERB pode dar bons resultados, mas pode não ser muito preciso sob condições áridas ou semi-áridas, ou com considerável advecção de energia, mesmo sob condições úmidas (Angus & Watts, 1984).

Erros instrumentais também podem comprometer a estimativa da evapotranspiração pelo método BERB, ocasionados pela baixa sensibilidade dos sensores ou inadequada instalação. Perez et al. (1999) afirmam que a exatidão na obtenção da ET neste método

depende da precisão da razão de Bowen ( $\beta$ ), a qual está sujeita à acurácia das medidas dos instrumentos. Segundo Righi et al. (2007) é importante conhecer o erro de medição dos sensores, especialmente dos psicrômetros, os quais apresentam grande importância na obtenção dos gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água. A inversão dos psicrômetros também se faz necessária para reduzir os erros no processo de medição (Perez et al., 1999).

De acordo com Allen et al. (2011), o saldo de radiação deve ser medido em altura suficiente que represente a condição média da superfície na área de medição. Vale salientar que o LE pode representar mais de 70% do Rn e pequenos erros em sua estimativa podem resultar em elevados erros na estimativa da evapotranspiração, obtida como resíduo na equação do balanço de energia. As placas para medição do fluxo de calor no solo devem ser instaladas a pequenas profundidades, o que reduz os erros associados às mudanças de temperatura acima da placa, devido à retenção de calor por esta camada de solo. Erros na estimativa do G são pouco expressivos no cômputo do saldo de radiação, visto que esse representa muitas vezes menos de 5% do Rn, no entanto devem ser evitados.

O método, assim como os demais baseados no balanço de energia a superfície, assume a equação simplificada do balanço de energia, na qual após trocas radiativas computadas pela quantificação dos fluxos radiativos ascendentes e descendentes, a energia resultante (Rn), é destinada basicamente ao aquecimento do ar (H), do solo (G) e a evapotranspiração (LE). De posse dos dados do fluxo de calor no solo (G) e do saldo de radiação (Rn) o LE é determinado como função da energia disponível no sistema e da Razão de Bowen ( $\beta$ ), determinado como função da diferença de temperatura e vapor de água entre dois níveis. Para tanto, considera-se como energia disponível a diferença entre o (Rn) e o (G), dividida entre fluxos de calor sensível e latente.

### 1.2.7. Coeficiente de cultura (Kc)

O conceito de Coeficiente de Cultura (Kc) foi introduzido por Jensen (1968) e foi amplamente discutido e aperfeiçoado pela FAO no Boletim-56 (Irrigação e Drenagem) (Allen et al., 1998). O Kc retrata a relação entre a evapotranspiração de uma cultura específica (ETc) e a evapotranspiração de referência (ETo), sendo um índice adimensional.

De acordo com Pereira & Allen (1997), o Kc representa a integração dos efeitos de três características que distinguem a ETc da ETo: 1) a altura da cultura, que afeta a rugosidade e a resistência aerodinâmica; 2) a resistência da superfície relativa ao par cultura-solo, que é afetada pela área foliar, pela fração de cobertura do solo pela vegetação, pela idade e condição das folhas e pelo teor de umidade à superfície do solo; 3) o albedo da superfície cultura-solo, que é influenciado pela fração de cobertura do solo pela vegetação e pela umidade à superfície do solo. Sedyama et al. (1998) salientam ainda que o Kc pode variar com a textura e o teor de água do solo e com a profundidade e a densidade do sistema radicular.

Clark et al. (1996) afirmam que o coeficiente de cultura relata o desenvolvimento fenológico e fisiológico de uma cultura particular em relação à evapotranspiração de referência e também representa o uso de água de uma cultura específica, que é de importância relevante para a estimativa do seu requerimento hídrico, necessário tanto para o dimensionamento de sistemas de irrigação quanto para a operacionalização de perímetros irrigados.

Allen et al. (1998) apresentaram uma metodologia para estabelecer os valores de Kc para culturas anuais. A metodologia divide o ciclo da cultura em quatro fases de desenvolvimento: 1) fase inicial, correspondente o período compreendido desde a germinação até o crescimento inicial (cobertura do solo atingindo cerca de 10%); 2) fase de desenvolvimento, compreendido entre o final da fase inicial e a efetiva cobertura do solo pela cultura (cerca de 80%); 3) fase média ou reprodutiva (floração); inicia-se quando a cultura

atinge plena cobertura até a maturação; 4) fase final, referente ao final do estágio anterior até a plena maturação e colheita.

Dessa forma, os valores de  $K_c$  variam com a cultura, com seu estágio de desenvolvimento e com o método de estimativa da  $E_{To}$ . Em essência,  $K_c$  é uma função do índice de área foliar (IAF), e no caso de uma cultura com menor poder refletor e maior rugosidade aerodinâmica que o gramado de referência, o valor de  $K_c$  pode exceder a 1,0 (Pereira et al., 1997). Valor maior ou igual a 1,0 significa que a cultura é mais eficiente na utilização da energia do ambiente do que o gramado de referência. Isso ocorre, notadamente, em função da maior altura da cultura, que resulta em maior interação aerodinâmica com a atmosfera (Pereira et al., 2002). Como a evaporação é um componente da evapotranspiração da cultura, os fatores que afetam a evaporação da água no solo também afetam o valor de  $K_c$ .

Allen et al. (2006) apresentaram uma revisão do manual da FAO para determinação das necessidades hídricas das culturas, recomendando a adoção do método de Penman-Monteith como padrão para estimativa da evapotranspiração de referência ( $E_{To}$ ), apresentando novos valores de coeficientes de cultivo ( $K_c$ ) para diferentes culturas e propondo um novo método de aproximação dos coeficientes de cultivo, em que apenas três valores de  $K_c$  (para os estádios inicial, intermediário e final) seriam utilizados para se traçar um gráfico de variação do  $K_c$  ao longo do ciclo da cultura. O manual aborda duas formas de coeficiente de cultivo: o  $K_c$  simples e o  $K_c$  dual. O  $K_c$  simples engloba a evaporação do solo e transpiração da cultura conjuntamente. Já o  $K_c$  dual estabelece dois elementos diferentes, o coeficiente basal ou de transpiração da cultura ( $K_{cb}$ ) e o coeficiente de evaporação do solo ( $K_e$ ).

Os valores de  $K_c$  da tabela 12 do Boletim FAO-56 foram determinados para clima sub-úmido, com umidade relativa mínima diária ( $RH_{\min}$ ) de cerca de 45% e velocidade do vento ( $U_2$ ) média de  $2\text{ m s}^{-1}$ . Para climas úmidos, áridos e semi-áridos tem sido sugerido correções para os seus valores de acordo com equações proposta pela FAO-56 (Allen et al.,

1998). O uso destes valores podem contribuir para estimativas da  $ET_c$  diferentes da  $ET_c$  real (Hunsaker et al., 2003), pois tem sido observado valores de  $K_c$ -inicial,  $K_c$ -médio e  $K_c$ -final, para cultivos experimentais de melão, diferentes daqueles valores listados na FAO-56 (Hunsaker, 1999; Grismer, 2002; Farahani et al., 2008).

Nas terras semi-áridas do Brasil alguns estudos mostram que o  $K_c$  local obtido é predominantemente diferente dos valores de  $K_c$  da FAO (Bezerra et al., 2010). Assim, muitos dos coeficientes de cultivo disponibilizados na literatura não refletem as condições locais onde são aplicados, pois foram determinados em regiões e condições de cultivo diferentes (Inman-Bamber & Mcglinchey, 2003; Lovelli et al., 2005; Campos et al., 2010).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 1.ed. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de água de los cultivos. 1.ed. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Howell, T. A.; Jensen, M. E. Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy. *Agricultural Water Management*, v.98, p.899-920, 2011.
- Alves, I.; Pereira, L. S. Modelling surface resistance from climatic variables. *Agricultural Water Management*, v.42, p.371-385, 2000.
- Angus, D.E.; Watts, P.J. Evapotranspiration: How good is the Bowen ratio method. *Agricultural Water Management*, v.8, p.133–150, 1984.
- Barreto, A.N.; Facioli, G.G.; Silva, A.A. Operação e o manje dos sistemas de irrigação. In: Barreto, A. N.; Silva, A. A. G.; Bolfe, E. L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental x sustentabilidade. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2004. cap.5, p.173-204.
- Bezerra, J. R. C.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B.; Dias, J. M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom. Irrigado. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.6, p.625–632, 2010.
- Bezerra, B. G.; Silva, B. B.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Santos, C. A. C. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigated cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. *Agricultural Water Management*, v.107, p.86-93, 2012.
- Bowen, I.S. The ratio of heatlosses by conduction and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, v. 27, p.779–787, 1926.
- Braga Sobrinho, R.; Guimarães, J. A.; Freitas, J. A. D.; Assis, J. S.; Mesquita, A. L.; Azevedo, F. R. A Produção Integrada de Melão no Brasil. In: Sobrinho, R. B; Guimarães, J. A.; Freitas, J. A. D.; Terao, D. (org.). Produção integrada do melão. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Banco do Nordeste do Brasil, 2008. Cap.16, p.183-199.
- Campos, I.; Neale, C. M. U.; Calera, A.; Balbontín, C.; Gonzalez Piqueras, J. Assessing satellite-based basal crop coefficients for irrigated grapes (*Vitis vinifera* L.). *Agricultural Water Management*, v.98, p.45-54, 2010.
- Cardoso, G. B.; Viana, T. V. A.; Azevedo, B. M. Sousa, V. F.; Souza, F. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicrômetros instalados a diferentes alturas. *Revista Ciência Agrônômica*, v.36, p.16-23, 2005.

- Cavalcante Junior, E. G.; Medeiros, J. F.; Melo, T. K.; Espinola Sobrinho, J.; Bristot, G.; Almeida, B. M.; Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.261–267, 2013
- Chang, M. *Forest hydrology: An introduction to water and forests*. USA: CRC Press, 2002. 373 p.
- Clark, G.A.; Albregts, E.E.; Stanley, C.D. Water requirements and crop coefficients of drip-irrigated strawberry plants. *Transaction of ASAE*, v.39, p.905-912, 1996.
- Costa, N. D.; Silva, H. R. DA. Cultivares. In: Silva, H. R. DA.; Costa, N. D. *Melão: produção, aspectos técnicos*. Brasília: EMPRAPA, 2003. *Frutas do Brasil* 33, p. 29-34.
- Crisóstomo, J. R.; Miranda, F. R.; Medeiros, J. F., Freitas, J. G. A cadeia produtiva do melão no Brasil. In: Albuquerque, A. C. S.; Silva, A. G. *Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. V. 1, p. 579-591.
- Cunha, G.R.; Bergamaschi, H.; Berlato, M.A.; Matzenauer, R. Balanço de energia em cultura de milho. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.4, p.1-14, 1996.
- Dantas, I. C.; Oliveira, C. W.; Silva, F. L.; Santos, F. S. S.; Marco, C. A. Produção de melão amarelo sob diferentes densidades de plantio. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v.7, p.74 - 84, 2013.
- Doorenbos, J.; Pruitt, W.O. *Guidelines for predicting crop water requirements*. 2.ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24)
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Faoestat. <http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>. 20 Maio. 2010.
- Farahani, H. J., Oweis, T. Y., Izzi, G. Crop coefficient for drip-irrigated cotton in a Mediterranean environment. *Irrigation Science*, v.26, p.275–383, 2008.
- Faria, M. T. de; Turco, J. E. P.; Fernandes, E. J.; Guirra, A. P. P. M. Resposta produtiva do feijoeiro comum a diferentes manejos de irrigação. *Irriga*, v.17, p.137-147, 2012.
- Feitosa, F. A. C.; Feitosa, E. C. Realidade e perspectivas de uso racional de águas subterrâneas na região semiárida do Brasil. In: Medeiros, S. S.; Gheyi, H. R.; Galvão, C. O.; Paz, V. P. S. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011. p.269-305.
- Fereres, E.; Soriano, M. A. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany*, v.58, n.2, p.147-159, 2007.
- Fernandes, C. N. V.; Azevedo, B. M.; Viana, T. V. A.; Bomfim, G. V.; Mesquita, J. B. R. Instalação e calibração de um lisímetro de precisão com uma célula de carga. *Irriga*, v.17, p.251 - 263, 2012.
- Ferreira, R. C. *Evapotranspiração e produtividade de água no primeiro ciclo da cana-de-açúcar submetida à irrigação subsuperficial no semiárido do Brasil*. Campina Grande: UFCG, 2014. 138p. Tese de Doutorado.

- Figueirêdo, V. B.; Medeiros, José F. de; Zocoler, João L.; Espinola Sobrinho, José. Evapotranspiração da cultura da melancia irrigada com água de diferentes salinidades. *Engenharia Agrícola (Impresso)*, v. 29, p. 231-240, 2009.
- Figueirêdo, M. C. P.; Rosa, M. F.; Gondim, R. S.; Freitas, J. A. Questões ambientais no cultivo do melão. In: Sobrinho, R. B; Guimarães, J. A.; Freitas, J. A. D.; Terao, D. (org.). *Produção integrada do melão*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Banco do Nordeste do Brasil, 2008.
- Fontana, D. C.; Berlato, M.A.; Bergamaschi, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.3, p.403-410, 1991.
- Fontes, P. C. R.; Puiatti, M. Cultura do melão. In: Fontes, P. C. R. *Olericultura: teoria e prática*. Viçosa: UFV, 2005. p 407-428.
- Freitas Júnior, R. R. Comparação dos métodos de manejo da irrigação do meloeiro (*Cucumis melo* L.) cultivado na região central do estado do Tocantins. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2010. 50p. Dissertação de Mestrado.
- Gavilán, P.; Berengena, J. Accuracy of the Bowen ration-energy balance method for measuring latent heat flux in a semiarid advective environment. *Irrigation Science*, v. 25, p. 127-140, 2007.
- Gimenez, C. Otto, R. F.; Castilla, N. Productivity of leaf and root vegetables crops under direct cover. *Scientia Horticulturae*, v.91, p.1-11, 2002.
- Gomide, R. L.; Kobayashi, M. K.; Boratto, I. M. P. Monitoramento automático da necessidade hídrica das culturas do feijoeiro e milho por meio do balanço de energia/Razão de Bowen. *Irriga, Edição Especial*, p. 453 - 466, 2012.
- Grismer, M. E. Regional cotton lint yield, ETC, and water value in Arizona and California. *Agricultural Water Manage*, v.54, p.227-242, 2002.
- Grismer, M. E.; Orang, M.; Snyder, R.; Matyac, R. Pan evaporation to reference evapotranspiration conversion methods. *Journal of Irrigation Drainage Engineering*, v.128, p.180-184, 2002.
- Gurgel, M. T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H.; Fernandes, D. P.; Silva, F. V. Nutrição de cultivares de meloeiro irrigadas com águas de baixa e alta salinidade. *Caatinga*, v. 21, p. 36-43, 2008.
- Hernandez-Hamirez, G.; Hatfield, J. L.; Prueger, J. H.; Sauer, T. J. Energy balance and turbulent flux partitioning in a corn-soybean rotation in the Midwestern US. *Theoretical and Applied Meteorology*, v.100, p.79-92, 2010.
- Hou, L. G.; Xiao, H. L.; Si, J. H.; Zhou, M. X.; Yang, Y.G. Evapotranspiration and crop coefficient of *Populus euphratica* Olivi forest during the growin season in the extreme arid region northwest China. *Agricultural Water Manage*, v.97, p.351-356, 2010.

Hunsaker, D.J.; Pinter Jr., P.J.; Barnes, E.M.; Kimball, B.A. Estimating cotton evapotranspiration crop coefficients with a multispectral vegetation index. *Irrigation Science*, v.22, p.95–104, 2003.

Hunsaker, D.J. Basal crop coefficients and water for early maturity cotton. *Transactions of ASAE*, v.42, p.927–936, 1999.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/agric/default.asp?=&z=t&o=11&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1>. 24 Mar. 2013.

Inman-Bamber, N. G.; Mcglinchey, M. G. Crop-coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term Bowen ratio energy balance measurements. *Field Crops Research*, v.83, p.125–138, 2003.

Jensen, M. E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York: ASCE, 1973. 215 p.

Jensen, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: Kozlowsky, T.T. (Eds). *Water Deficits and Plant Growth*. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1–22.

Kobiyama, M. *Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais*. 2.ed. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/LabHidro, 2009. 263p.

López-Urrea, R.; Olalla, F. M. S.; Sakai, E.; Fujiwara, M. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*, v.85, p.15-26, 2006.

Lovelli, S.; Pizza, S.; Caponio, T.; Rivelli, A. R.; Perniola, M. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. *Agricultural Water Management*, v.72, p.147–159, 2005.

Medeiros, J. A.; Lisboa, R. A.; Oliveira, M.; Silva Júnior, M. J.; Alves, L. P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.469-472, 2003

Medeiros, J. F.; Santos, S. C. L.; Câmara, M. J. T.; Negreiros, M. Z. Produção de melão Cantaloupe influenciado por coberturas do solo, agrotêxtil e lâminas de irrigação. *Horticultura Brasileira*, v.25, p.538-543, 2007.

Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Pereira, F. A. L.; Souza, R. O.; Souza, P. A. Produção e qualidade de melão cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. *Revista Caatinga*, v.24, n.1, p.92-98, 2011a.

Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Pereira, F.A.L.; Silva, S. C. M.; Amancio, M. G. Production and quality of melon hybrid Mandacaru irrigated with different levels of salinity. *Horticultura Brasileira*, v.29, p.600-604, 2011b.

Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Barbosa, M. A. G.; Queiroga, R. C. F.; Oliveira, F. A.; Freitas, W. E. S. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estagio de desenvolvimento da planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.647-654, 2012.

- Melo, T. K.; Medeiros, J. F.; Espínola Sobrinho, J. Figueiredo, V. B.; Pereira, V. C.; Campos, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.15, p.1235–1242, 2011.
- Miranda, F. R. de; Souza, F. de; Ribeiro, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para a cultura do melão plantado na região litorânea do Estado do Ceará. *Engenharia Agrícola*, v.18, p. 63-70, 1999.
- Miranda, N. O.; Medeiros, J. F.; Nascimento, I. B.; Alves, L. P. Produtividade e qualidade de frutos de melão em resposta a cobertura do solo com plástico preto e ao preparo do solo. *Horticultura Brasileira*, v.21, n.3, p.490-493, 2003.
- Miranda, F. R.; Gondim, R. S.; Freitas, J. A. D.; Pinheiro NETO, L. G. Irrigação do Meloeiro. In: Sobrinho, R. B; Guimarães, J. A.; Freitas, J. A. D.; Terao, D. (org.). *Produção integrada do melão*. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2008. Cap.13, p.153-165.
- Morison, J. I. L.; Baker, N. R.; Mullineaux, P. M.; Davies, W. J. Improving water use in crop production. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.353, p.639-658, 2008.
- Negreiros, M. Z.; Costa, F. A.; Medeiros, J. F.; Leitão, V. B. R. M. M.; Bezerra Neto, F.; Espínola Sobrinho, J. Rendimento e qualidade do melão sob lâminas de irrigação e cobertura do solo com filmes de polietileno de diferentes cores. *Horticultura Brasileira*, v.23, p.773-779, 2005.
- Oliveira, G. M.; Leitão, M. M. V. B. R.; Almeida, A. C. Determinação da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para as diferentes fases de desenvolvimento do melão (*Cucumis melo* L.) na região norte da Bahia. *Revista Verde*, v.5, p. 142 – 151, 2010.
- Pereira, A. R., Villa Nova, N. A.; Sedyama, B. C. *Evapo(transpi)ração*. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.
- Pereira, L.S.; Allen, R.G. Novas aproximações aos coeficientes culturais. *Revista Engenharia Agrícola*, v.16, p.118 - 43,1997.
- Pereira, A. R.; Angelocci, L. R.; Sentelhas, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Porto Alegre: Guaíba Agropecuária, 2002. 478p.
- Pereira Filho, J. V.; Bezerra, F. M. L.; Silva, A. R. A.; Sousa, C. C. M.; Castro, J. M. Frequência de irrigação e aplicação de N em meloeiro irrigado por gotejamento nas condições semiáridas do Nordeste. *Científica*, v.42, p.11–22, 2014.
- Perez, P. J.; Castellvi, F.; Ibañez, M.; Rosell, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p.141-150, 1999.
- Pires, M. M. M. L.; Santos, H. A.; Santos, D. F.; Vasconcelos, A. S.; Aragão, C. A. Produção do meloeiro submetido a diferentes manejos de água com o uso de manta de tecido não tecido. *Horticultura Brasileira*, v.31, p.304-310, 2013.

- Perry, C.; Steduto, P.; Allen, R. G.; Burt, C. M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. *Agricultural Water Management*, v.96, p.1517-1254, 2009.
- Righi, E. Z.; Angelocci, L. R.; Marin, F. R. Energy balance of a young drip irrigated coffee crop in southeast Brazil: an analysis of errors and reliability of measurements by the Bowen ratio method. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 15, p. 367-279, 2007.
- Rocha, E. J. T.; Evangelista, S. R. M.; Fuck Júnior, S. C. F.; Gondim, R. S. Estimativa da ETo pelo modelo Penman-Monteith FAO com dados mínimos integrada a um Sistema de Informação Geográfica. *Revista Ciência Agronômica*, v. 42, p. 75-83, 2011.
- Rocha, O. C.; Guerra, A. F.; Azevedo, H. M. de. Ajuste do modelo Christiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 7, p. 263-268, 2003.
- Rosenberg, N.J.; Blad, B.L.; Verma, S.B. *Microclimate: the biological environment*. Lincoln: John Willey & Sons, Inc., 1983. 495p.
- Sampaio, R. A.; Araújo, W. F. Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. *Agropecuária Técnica*, v.22, p.1-12, 2001.
- Savage, M.J., Everson, C.S., Metelkamp, B.R. Bowen ratio evaporation measurement in a remote montane grassland: data integrity and fluxes. *Journal of Hydrology*, v.376, p.249–260, 2009.
- Sediyama, C. G.; Ribeiro, A.; Leal, B. G. Relações clima – água – planta. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Minas Gerais. Simpósio... Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 46-85.
- Shen, Y.; Zhang, Y.; Kondoh, A.; Tang, C.; Chen, J.; Xias, J.; Sakllra, Y.; Liu, C.; Sun, H. Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. *Hydrological Processes*, v.18, p.2223-2234, 2004.
- Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B. Surface energy balance and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. *Agronomy Journal*, v. 99, p.1391-1396, 2007.
- Silva, T. G. F. da; Moura, M. S. B. de; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Souza, L. S. B. de; Brandão, E. O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.139–147, 2011.
- Silva, T. G. F.; Moura, M. S. B.; Zolnier, S.; Soares, J. M.; Vieira, V. J. S.; Walter Juniro, G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, p.64–71, 2012.
- Silva, M. C.; Silva, T. J. A.; Silva, E. M. B.; Farias, L. N. Características produtivas e qualitativas de melão rendilhado adubado com nitrogênio e potássio. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, p.581–587, 2014.

Steduto, P.; Hsiao, T. C. Maize canopies under two soil water regimes. IV. Validity of Bowen ratio energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.89, p.215-228, 1998.

Strzepek, K.; Boehlert, B. Competition for water for the food system. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v.355, p.2927-2940, 2010.

Teixeira, A.H. de C. Avaliação dos componentes do balanço de energia durante o primeiro ano de cultura da banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, p.28 – 32, 2001.

Teixeira, A. H. de C.; Bastiaanssen, W. G. M.; Bassoi, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the Sao Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*, v.94, p.31-42, 2007.

Thornthwaite, C. W. An Approach toward a Rational Classification of Climate. *Geographical Review*, v.38, p.55-94, 1948.

Todd, R.W., Evett, S.R., Howell, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.130, p.335–348, 2000.

Valmir Júnior, M.; Lima V. L. A.; Gomes Filho, R. R. G.; Carvalho, C. M.; Soares, F. A. L.; Lima, S. C. R. V. Lâminas de irrigação e frequência de aplicação no crescimento do meloeiro. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 7, p.42 – 53, 2013.

Verma, S. B.; Rosenberg, N. J.; Blad, B. L. Turbulent exchange coefficients for sensible heat and water vapor under advective conditions. *Journal of Applied Meteorology*, v.17, p.330-338, 1978.

Vilella, S. M.; Mattos, A. *Hidrologia Aplicada*. São Paulo: McGraw-Hill, 1975. 245p.

Villa Nova, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1973. 77p. Tese de Doutorado.

Villa Nova, N. A. Principais métodos de estimativa de aplicação de água de irrigação. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, 1987. 22 p.

Zeggaf, A. T., Takeuchi, S., Dehghaniasanij, H., Anyoji, H., Yano, T. A Bowenratio technique for partitioning energy fluxes between maize transpiration and soil surface evaporation. *Agronomy Journal*, v.100, p.988–996, 2008.

Ward, A.D.; Trimble, S.W. *Environmental Hydrology*. 2.ed. USA: Lewis Publishers, 2004. 475 p.

WMO- World Meteorological Organization. Guide to hydrological practices. *Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. 6.ed. Geneva: WMO Pub.168, 2008. 735p.

## CAPÍTULO 2

### RELAÇÕES ENTRE OS COMPONENTES DO BALANÇO DE ENERGIA EM UM CULTIVO DE MELÃO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ-RN

**Resumo:** O método micrometeorológico do Balanço de Energia pela Razão de Bowen (BERB) tem sido bastante usado para estimar a evapotranspiração da cultura (ETc) de diferentes sistemas solo/vegetação em diferentes condições climáticas, incluindo o semiárido brasileiro. O balanço de energia explica o destino dado à fração de energia disponível para o sistema. O objetivo do trabalho foi analisar o comportamento dos fluxos de energia e das partições do balanço de energia, na cultura do melão (*Cucumis mello L.*) em condições irrigadas. O estudo foi realizado em duas áreas de produção comercial de melão para exportação, em Mossoró/RN, e conduzido em duas épocas da safra de 2012. Os componentes do balanço de energia foram determinados utilizando o método BERB. O saldo de radiação (Rn) e o fluxo de calor (G) foram medidos diretamente e os valores do fluxo de calor latente (LE) e do fluxo de calor sensível (H) foram derivados a partir da equação do balanço de energia e do conceito de razão de Bowen. Observou-se que os valores de LE/Rn foram superiores a 60%, G/Rn foi em média 11% e a média H/Rn foi de 21%.

**Palavras-chave:** *Cucumis melloL*, razão de Bowen, necessidade hídrica

**RELATIONS BETWEEN THE BALANCE COMPONENTS OF ENERGY IN A  
MELON IRRIGATED FARMING IN MOSSORÓ-RN REGION**

**Abstract:** The micrometeorological method of energy balance by the Bowen ratio (BERB) has been widely used to estimate the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) of different systems soil / vegetation in different climatic conditions, including the Brazilian semiarid region. The energy balance explains the destination of the fraction of energy available to the system. The objective was to analyze the behavior of energy flows and energy balance of the partitions, in melon crop (*Cucumis melo L.*) in irrigated conditions. The study was conducted in two areas of commercial production of melons for export in Mossoro / RN, and conducted in two seasons of harvest 2012. The components of energy balance were determined using the method BERB. The net radiation (R<sub>n</sub>) and heat flux (G) were measured directly and the values of the latent heat flux (LE) and sensitive heat flow (H) were derived from the energy balance equation and concept of Bowen ratio. It was observed that the LE/R<sub>n</sub> values were above 60%, G/R<sub>n</sub> averaged 11% and the mean H/R<sub>n</sub> was 21%.

**Keywords:** *Cucumis melo L.*, Bowen ratio, water requirement

## 2.1. INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melloL.*) é uma hortaliça de grande expressão econômica, que é cultivada em todas as regiões brasileiras e em diversas partes do mundo (Qi et al., 2015). O seu cultivo tem sido bastante difundido em regiões de clima tropical e/ou semiárido onde seu desenvolvimento tem sido favorecido pelas condições ambientais, em especial, temperaturas mais elevadas, umidade relativa do ar baixa e intensa luminosidade.

Dentre as regiões com essas condições destaca-se o Nordeste do Brasil, sobretudo a região do agropólo Assu-Mossoró-Baraúna no estado do Rio Grande do Norte (Medeiros et al., 2012). Esse agropólo é reconhecido pela intensa produção de fruticultura e olericultura irrigadas, sendo o maior produtor de melão do Brasil, responsável por mais da metade de toda a produção nacional (Medeiros et al., 2011).

No entanto, o referido agropólo está localizado na região do Semiárido Brasileiro que é freqüentemente assolado por estiagens prolongadas e secas quase periódicas. O período chuvoso se restringe ao primeiro do ano semestre e cerca de 80% da precipitação anual ocorre em quatro meses. Assim, o déficit hídrico na região pode chegar a até 800 mm ano<sup>-1</sup> (Bezerra et al., 2012; Cavalcante Júnior et al., 2013). Diante desse cenário, a produção de melão nesta região é predominantemente sob condições irrigadas, pois a irregularidade das chuvas não permite uma produção comercial sobre condições de sequeiro.

A principal fonte de água para irrigação na região é subterrânea da bacia sedimentar Potiguar. No entanto, a expansão dos projetos de irrigação tem provocado um aumento substancial na demanda de água nessa região, acarretando rebaixamentos acentuados desse aquífero, de modo a gerar preocupações quanto à seguridade hídrica da região em períodos de longas estiagens.

Um requisito fundamental para racionalização do uso da água na irrigação é a determinação da evapotranspiração da cultura (ETc). A ETc pode ser determinada através de

inúmeros sistemas incluindo lisímetros, métodos micrometeorológicos, balanço hídrico no solo, fluxo de seiva, cintilômetros e/ou através de dados de sensoriamento remoto (Allen et al., 2011).

O método micrometeorológico do Balanço de Energia pela Razão de Bowen (BERB) é um método relativamente prático e confiável. Tem sido frequentemente usado para estimar a ET de diferentes sistemas solo/vegetação em diferentes condições climáticas, incluindo o semiárido brasileiro (Zeggaf et al., 2008; Bezerra et al., 2012; 2015).

De acordo com Pereira et al. (2013), o balanço de energia explica o destino dado à fração de energia disponível para o sistema, sendo o saldo de radiação ( $R_n$ ) distribuído entre os fluxos não-radiativos a superfície do solo. Invariavelmente as partições do balanço de energia são controladas principalmente pela cobertura vegetal do solo, pelo conteúdo de água no solo e pela disponibilidade de energia solar. Em culturas agrícolas sobre condições irrigadas tem sido relatado que a porção do  $R_n$  convertida em LE (evapotranspiração) é superior a 70% (Suyker & Verma, 2008; Bezerra et al., 2012; 2015).

Diante das preocupações expostas, o principal objetivo do presente trabalho foi analisar o comportamento dos fluxos de energia e das partições do balanço de energia, em condições irrigadas, na região de Mossoró-RN, Brasil.

## **2.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.2.1. Localização e caracterização da área de estudo**

O estudo foi realizado na zona rural do município de Mossoró localizado no estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, em duas propriedades agrícolas, produtoras de melão para exportação, durante dois ciclos consecutivos no ano de 2012. As fazendas e suas respectivas coordenadas da sede são: Dinamarca (4°54'28"S; 37°24'06"W; 17 m) e Norfruit (4°54'10"S; 37°22'01"O; 36 m), que serão mencionadas neste estudo como Área 1 e Área 2, respectivamente.

### **2.2.2. Práticas culturais e irrigação**

O experimento foi conduzido em duas épocas na safra 2012: a primeira compreendendo o período de 18 de junho a 05 de setembro (1º ciclo) e a segunda de 06 de setembro a 13 de novembro (2º ciclo) considerando as duas áreas estudadas. O clima da região, de acordo com Thornthwaite (1948), é Semiárido, megatérmico com déficit hídrico durante o ano. A precipitação média anual é de 673,9 mm, dos quais cerca de 550 mm ocorrem no período de fevereiro a maio. A umidade relativa média anual de 68,9%, enquanto que a temperatura média anual é 27,7°C, variando de 27,2°C em Junho a 28,4°C em Fevereiro.

A cultura foi semeada em casa de vegetação e aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi feito o transplântio das mudas para o campo, cujo solo era protegido com mulch plástico. Na ocasião do transplântio foram colocadas as mantas agrotêxteis de polipropileno (TNT) na cor branca sobre as fileiras, procedimento este que tem por objetivo minimizar a incidência de

pragas e doenças. As características das parcelas onde foi instalado o experimento são descritas na Tabela 2.1.

Tabela 2.1. Descrição das parcelas avaliadas nas duas áreas estudadas e nos dois ciclos do meloeiro: área da parcela (ha), variedade cultivada, espaçamento (m), datas de plantio, colocação e retirada da manta e início da colheita, em Mossoró-RN, 2012

	Ciclo	Área (ha)	Variedade	Espaçamento entre plantas (m)	Plantio	Colocação da manta	Retirada da manta	Início da Colheita
Área 1	1°	3,0	Amarelo (Goldex)	0,3 x 2,0	08/06	18/06	07/07	24/08
	2°	2,5	Amarelo (Iracema)	0,3 x 2,0	31/08	10/09	01/10	10/11
Área 2	1°	2,8	Amarelo (Iracema)	0,4 x 1,9	08/06	19/06	09/07	16/08
	2°	2,8	Gália	0,4 x 1,9	27/08	06/09	24/09	29/10

O método de irrigação adotado foi o de gotejamento. O espaçamento dos emissores foi o mesmo das plantas, de forma a ter um gotejador por planta. O turno de rega adotado foi o diário. A lâmina aplicada nas áreas estudadas foi definida de acordo com o manejo adotado em cada fazenda e os totais de irrigação na Área 1 foram de 583,9 e 468,0 mm, para os dois ciclos consecutivos do meloeiro. Na Área 2, por sua vez, os totais de irrigação foram de 293,7 e 352,9 mm, para o primeiro e segundo ciclo do meloeiro, respectivamente.

A divisão do ciclo vegetativo do meloeiro foi feita em quatro estádios com base na metodologia proposta pela FAO-56 (Allen et al., 1998), quais sejam: inicial (transplântio até a cultura propiciar 10% de cobertura do solo); crescimento vegetativo (Fim da fase inicial até o início da floração); Médio ou frutificação (início da floração até o início da maturação dos frutos) e final (início da maturação até a colheita).

### 2.2.3. Componentes do balanço de energia

Os componentes do balanço de energia foram determinados utilizando o método do Balanço de Energia por Razão de Bowen (BERB). Desprezando a energia armazenada no dossel e o fluxo de energia fotossintética, pois representam menos de 2% do saldo de radiação ( $R_n$ ), o balanço de energia expressa a conversão de energia em fluxos de massa e de calor sobre a cultura (Eq. 2.1) (Perez et al., 1999; Zhang et al., 2008; Bezerra et al., 2012; 2015).

$$R_n = LE + H + G \quad (2.1)$$

Em que  $R_n$  é o saldo de radiação à superfície,  $LE$  é o fluxo de calor latente,  $H$  é o fluxo de calor sensível e  $G$  é o fluxo de calor no solo, todos em  $W m^{-2}$ .

O  $R_n$  foi medido utilizando um saldo radiômetro, instalado a 2,5 m acima do dossel da cultura. Os valores do  $G$ , por sua vez, foram medidos utilizando duas Placas de fluxo de calor no solo, enterradas a 0,02 m de profundidade, sendo uma sob o mulch na linha de plantio e outra nas entrelinhas.

Os valores do  $LE$  e do  $H$  foram derivados a partir da equação do balanço de energia (Eq.2.1) e do conceito de razão de Bowen assumindo que os coeficientes de difusão turbulenta para o transporte de calor e vapor d'água são iguais (Bowen, 1926; Allen et al., 2011).

$$LE = \frac{R_n - G}{1 + \beta} \quad (2.2)$$

$$H = \frac{R_n - G}{1 + \beta^{-1}} \quad (2.3)$$

Em que  $\beta$  é a razão de Bowen (Bowen, 1926), calculada pela equação seguinte:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2.4)$$

Em que:  $\Delta T = T_2 - T_1$  é o gradiente de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre dois níveis acima do dossel da cultura e  $\Delta e = e_2 - e_1$  é o gradiente de pressão real de vapor de água (kPa) entre os mesmos dois níveis de  $\Delta T$ ,  $\gamma$  é o coeficiente psicrométrico ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ), que foi calculado utilizando a equação seguinte:

$$\gamma = \frac{c_p P_a}{0,622 \lambda} \quad (2.5)$$

Onde  $C_p$  é o calor específico do ar seco a pressão constante ( $\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$ ),  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água ( $\text{J kg}^{-1}$ ), o qual foi calculado pela Eq. 2.6, e  $P_a$  é a pressão atmosférica (kPa).

$$\lambda = 2,501 - 2,361 \times 10^{-3} T_a \quad (2.6)$$

Onde  $T_a$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os referidos gradientes foram obtidos a partir das medidas das temperaturas de bulbo seco e de bulbo úmido medidas em dois níveis acima do dossel vegetativo (0,5 e 2,0 m) utilizando dois psicrômetros construídos com termopares tipo T (cobre-constantan).

A partição do balanço de energia disponível foi avaliada utilizando a fração de evaporação ( $\Lambda$ ) adimensional, definida como a razão do fluxo de calor latente e a energia disponível (Shen et al., 2004).

$$\Lambda = \frac{LE}{Rn - G} \quad (2.7)$$

O índice de área foliar (IAF) foi medido semanalmente a partir dos 10 dias após o transplanti (DAT) até o final da estação de crescimento. A área foliar foi medida usando um

integrador de área foliar Licor modelo 3100 e pelo método dos discos foliares, que consistiu na retirada de discos em folhas aleatórias, com auxílio de um vazador com área  $2,01\text{cm}^2$ .

A análise de consistências dos dados do BERB foi realizada conforme os critérios estabelecidos por Perez et al. (1999). Diante desses critérios, foram descartados os dados considerados fisicamente inconsistentes, incluindo os casos que se encontram fora dos limites de resoluções instrumentais. Dessa forma, as estimativas de LE e H devem ser coerentes com as relações fluxo-gradiente.

De acordo com a metodologia proposta por Perez et al. (1999), apenas os dados coletados durante o período diurno, ou quando a energia disponível for positiva ( $R_n - G > 0$ ), são utilizados, e a exclusão dos dados coletados no período noturno deve-se a inconsistências físicas encontradas nos mesmos. Para evitar erros na estimativados fluxos, quando  $-1,25 < \beta < -0,75$  e quando os valores dos gradientes de temperatura e de pressão de vapor foram menores do que o limite de resolução dos sensores, e quando a velocidade do vento da altura superior foi menor que  $1,0\text{ ms}^{-1}$  e a diferença da velocidade do vento entre ambas as alturas foi menor do que  $0,3\text{ ms}^{-1}$  os dados foram eliminados (Payero et al., 2003). Cada valor foi eliminado e substituído por interpolação entre dois valores que precederam e seguiram o valor eliminado.

## 2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1. Condições Climáticas no período do experimento

A Tabela 2.2 apresenta as datas dos eventos que marcaram as mudanças dos estádios fisiológicos da cultura, bem como a duração dos mesmos em cada parcela avaliada. Não houve muita variação na duração dos ciclos vegetativos, com exceção do primeiro ciclo da Área 1 onde, devido a uma infestação de pragas e/ou doenças, os estádios médio e final se prolongaram mais e, conseqüentemente, a duração do ciclo da cultura foi maior.

Tabela 2.2. Duração dos estádios de desenvolvimento do meloeiro cultivado nas duas áreas e nos dois ciclos estudados, em Mossoró-RN, 2012

	Estádios	1º Ciclo		2º Ciclo	
		Período	Duração	Período	Duração
Área 1	Inicial	18/jun a 02/jul	14 dias	10/set a 24/set	14 dias
	Desenvolvimento	03/jul a 24/jul	22 dias	25/set a 19/out	25 dias
	Médio	25/jul a 23/ago	30 dias	20/out a 06/nov	18 dias
	Final	24/ago a 05/set	13 dias	07/nov a 13/nov	7 dias
	Estágio completo	18/jun a 05/set	79 dias	10/set a 13/nov	64 dias
Área 2	Inicial	19/jun a 30/jun	11 dias	06/set a 19/set	13 dias
	Desenvolvimento	20/jun a 22/jul	22 dias	20/set a 12/out	23 dias
	Médio	23/jul a 15/ago	24 dias	13/out a 29/out	17 dias
	Final	16/ago a 22/ago	7 dias	30/out a 05/nov	7 dias
	Estádio completo	19/jun a 22/ago	64 dias	06/set a 05/nov	60 dias

Os valores médios mensais das variáveis meteorológicas e da precipitação total mensal observada durante a estação de cultivo de melão em ambos os ciclos são apresentados na Tabela 2.3. Podemos observar que, durante 1º ciclo Tar variou de 26,69 a 26,99 °C, enquanto durante o 2º ciclo Tar variou de 26,95 a 27,25 °C. Este aumento da Tar durante 2º ciclo em relação ao primeiro ciclo foi devido ao efeito radioativo, porque a radiação solar

média mensal durante 2º ciclo foi de quase  $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  maior do que no primeiro ciclo (Tabela 2.3). Este aumento ocorreu porque durante a transição entre os dois ciclos consecutivos ocorreu o equinócio da primavera no Hemisfério Sul e, conseqüentemente, o hemisfério sul fica mais quente.

Tabela 2.3. Médias mensais da Radiação solar (Rad.), Temperatura mensal do ar ( $T_{ar}$ ), umidade relativa (UR), velocidade do vento a 2 m ( $u_2$ ), déficit de pressão de vapor (DPV), evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), e precipitação mensal (P) observada durante a estação de crescimento do melão em Mossoró, 2012

Meses	Rad. ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$ )	$T_{ar}$ ( $^{\circ}\text{C}$ )	UR (%)	$u_2$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	DPV (kPa)	$ET_0$ ( $\text{mm d}^{-1}$ )	P (mm)
Jun-2012	20,81	26,69	69,08	3,12	1,66	5,74	0,20
Jul-2012	22,62	26,94	63,59	3,58	1,84	6,53	27,20
Ago-2012	22,58	26,99	58,85	3,86	2,10	7,19	26,80
Set-2012	22,60	26,95	60,95	4,43	1,96	7,44	12,20
Out-2012	22,65	27,25	63,24	4,78	1,88	7,53	24,20
Nov-2012	23,08	27,20	65,95	4,51	1,61	6,93	0,20

O aumento da  $T_{ar}$  tem efeito direto na determinação do comprimento da estação de crescimento. Note-se que durante o 2º ciclo a média da  $T_{ar}$  foi quase  $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$  mais quente do que no 1º ciclo. Conseqüentemente o 2º ciclo foi menor que o 1º em ambas as áreas estudadas (Tabela 2). Na Área 2 o 2º ciclo foi de 4 dias mais curto que o 1º ciclo, enquanto na Área 1 o 2º ciclo foi de 15 dias mais curto do 1º ciclo (Tabela 2.2), porém a diferença de 15 dias na Área 1 entre o primeiro e segundo ciclos foi também intensificada pela infestação de pragas e doenças já citada no parágrafo acima. O efeito da temperatura do ar no comprimento da estação de crescimento das culturas é bastante discutido na literatura (Bezerra et al., 2012; 2015).

Ainda de acordo com a Tabela 2.3 observamos que a demanda de água na atmosfera durante o segundo ciclo foi maior do que durante o primeiro ciclo pois a  $ET_0$  foi quase um milímetro mais elevada. Verificamos também, que a velocidade do vento, durante o segundo ciclo foi maior do que durante o primeiro ciclo.

O aumento dos valores do  $R_n$  entre os estádios fenológicos Inicial até o estágio Médio ocorreu em função do desenvolvimento da cultura nesse período. O desenvolvimento da cultura é indicado pelo IAF na Tabela 2.4. Entre o estágio Inicial e o Médio a cultura estava em plena temporada de crescimento e desenvolvimento e o IAF foi crescente nesse período. Durante o estágio Final, a senescência da cultura se traduziu em uma redução de quase 50% do IAF em relação ao estágio Médio. A relação entre o IAF e os componentes do balanço de energia, incluindo-se o  $R_n$ , é relatada na literatura para várias outras culturas (Yuan et al., 2010; Bezerra et al., 2015).

Na Figura 2.1 apresenta-se o comportamento da Radiação global ( $R_g$ ) medida e do déficit de pressão de vapor d'água determinado a partir de observações da estação meteorológica automática do INMET, localizada na Área 2, para os períodos que compreendem os dois ciclos das parcelas avaliadas (20/jun a 05/set e 06/set a 13/11 de 2012). Para o primeiro ciclo (Figura 2.1A) a maior incidência de radiação solar na superfície ocorreu no dia 04 de julho ( $31,92 \text{ MJ m}^{-2}$ ), enquanto que no dia 27 de julho registrou-se o menor valor,  $13,24 \text{ MJ m}^{-2}$ . No segundo ciclo (Figura 2.1B) a maior incidência de radiação solar na superfície ocorreu no dia 02 de novembro ( $28,91 \text{ MJ m}^{-2}$ ), enquanto que no dia 15 de outubro registrou-se o menor valor,  $16,32 \text{ MJ m}^{-2}$ .

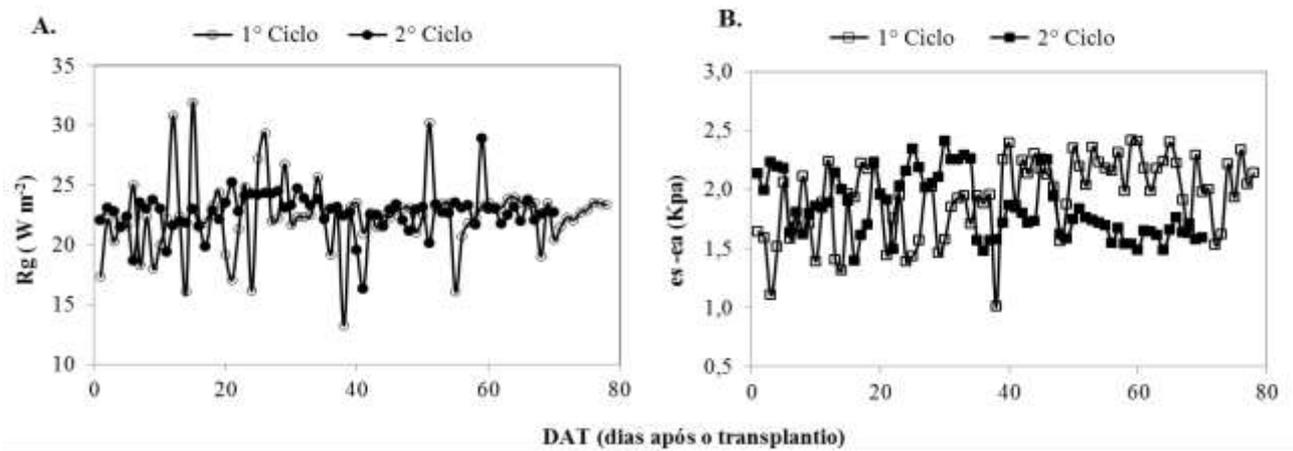


Figura 2.1. Radiação solar global (Rg) (A) e déficit de pressão de vapor d'água (es-ea) (B) registrados no primeiro e segundo ciclos do melão, na estação do INMET localizada na zona rural de Mossoró-RN, em 2012

O déficit de pressão de vapor, (es - ea), em que es é pressão de saturação de vapor d'água, ea pressão atual de vapor d'água, é um indicador da demanda evaporativa da atmosfera: quanto maior o seu valor, menor a quantidade de vapor d'água no volume de ar àquela temperatura. Para o primeiro período estudado (Figura 2.1B) o menor valor encontrado foi de 1,01 kPa, em 27/jul atingindo valor máximo de 2,42 kPa em 17/ago. No segundo período analisado (Figura 2.1B) o menor valor foi de 1,40 kPa, em 21/set, e o maior valor foi de 2,41 em 05/out.

O volume precipitado foi pequeno, no total de 54,2 e 36,6 mm para o primeiro e segundo ciclo (Figura 2.2B), respectivamente, concentrados principalmente nos meses de julho, agosto e outubro de 2012. As precipitações foram de 27,2 mm em julho, 26,8 mm em agosto e 24,2 mm em outubro, compondo mais de 85% do total observado.

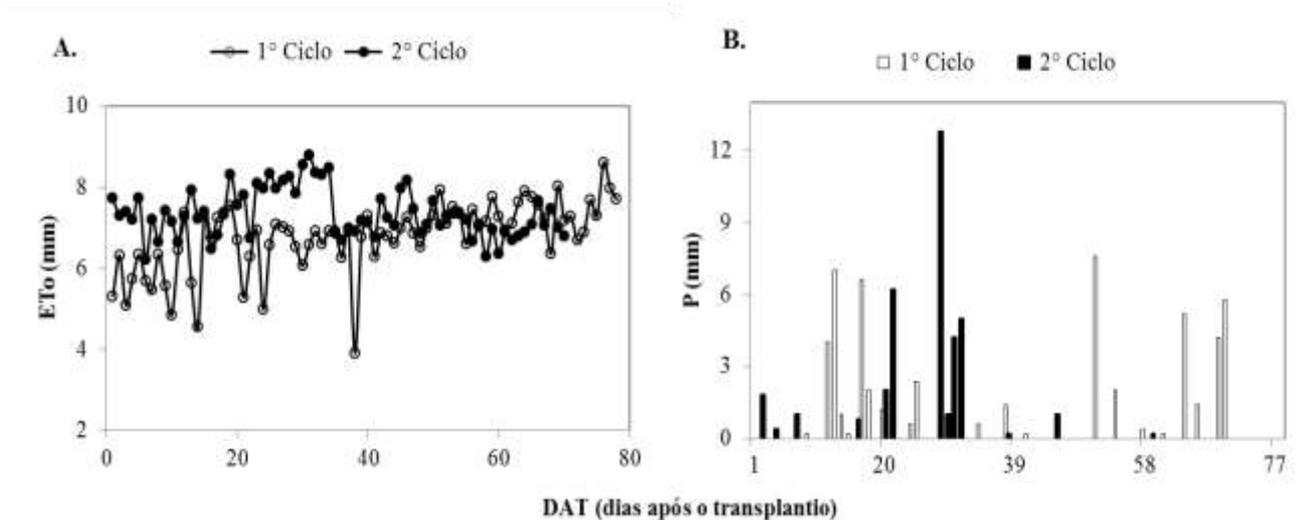


Figura 2.2. Evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) (A) e precipitação (P) (B) registradas no primeiro e segundo ciclo do melão, na estação do INMET localizada na zona rural de Mossoró-RN, em 2012

A  $ET_0$  total foi de 527,7 e 514,34 mm para o primeiro e segundo (Figura 2.2A) ciclos, respectivamente, evidenciando a elevada demanda hídrica da atmosfera local. Embora os parâmetros meteorológicos tenham apresentado resultados superiores durante o segundo ciclo (Tabela 2.3) revelando uma maior demanda hídrica, o valor da  $ET_0$  neste período foi menor, e isso se deve a duração da estação de crescimento da cultura que foi menor no segundo ciclo quando comparado ao primeiro. O comportamento da  $ET_0$  foi semelhante ao curso da radiação global incidente, bem como do déficit ( $es - ea$ ). Os meses de máxima demanda hídrica foram agosto (primeiro ciclo) e outubro (segundo ciclo), com  $ET_0$  diária média de 7,19 e 7,53 mm, respectivamente. Os valores mínimo e máximo da  $ET_0$  no primeiro ciclo do meloeiro foram de 3,9 mm em 27 de julho e 8,6 mm em 03 de setembro. Já no segundo ciclo a variação entre os valores de  $ET_0$  foi menor, onde o menor valor foi de 6,21 mm em 11 de setembro e o maior valor foi de 8,78 mm no dia 06 de outubro.

### 2.3.2. Balanço de energia e evapotranspiração

A quantidade de água, em milímetros, utilizada na irrigação do meloerio nas duas áreas estudadas durante os dois ciclos consecutivos no ano de 2012 é apresentada na Tabela 2.4. A irrigação foi realizada seguindo o manejo adotado nas duas áreas comerciais.

Na Tabela 2.4 podemos observar as variações da partição do Balanço de Energia e do índice de área foliar (IAF). Analisando os dados da referida Tabela relativos à Área 1, podemos observar que do estágio Inicial para o Médio o IAF aumentou de 0,01 para 4,23  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no primeiro ciclo e de 0,05 para 4,22  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no segundo ciclo, enquanto o percentual do Rn convertido em LE (LE /Rn) aumentou de 58 para 73% no primeiro ciclo e de 67 para 72% no segundo ciclo. Por outro lado, o IAF diminuiu do estágio médio para o final de 4,23 para 2,49  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no primeiro ciclo e de 4,22 para 2,34  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no segundo ciclo, ao mesmo tempo em que o LE/Rn diminuiu de 73 até 71% no primeiro ciclo e de 72 para 62% no segundo ciclo.

Para a Área 2, ainda de acordo com a Tabela 2.4, observa-seo mesmo comportamento onde o IAF do estágio inicial para o médio aumentou de 0,01 para 3,54  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no primeiro ciclo e de 0,18 para 4,57  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no segundo ciclo, houve também um aumento no LE/Rn de 58 para 66% no primeiro ciclo e de 72 para 79% no segundo ciclo. Em contrapartida, houve uma diminuição do IAF do estágio médio para o final de 3,54 para 2,51  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no primeiro ciclo e de 4,57 para 3,41  $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$  no segundo ciclo, enquanto o LE/Rn diminuiu de 66 até 64% no primeiro ciclo e de 79 para 66% no segundo ciclo.

Tabela 2.4. Precipitação (P), Irrigação (I) e valores médios da partição do balanço de energia, fração evaporativa ( $\Lambda$ ) e índice de área foliar (IAF) para cada estágio fenológico em cada ciclo da cultura do meloeiro, em Mossoró-RN, 2012

		Partição do Balanço de Energia						
		P	I	LE/Rn	H/Rn	G/Rn	$\Lambda$	IAF
		(mm)		(%)			-	(cm <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup> )
Área 1								
1º Ciclo	Inicial	11,20	39,00	58	25	17	0,71	0,01
	Desenvolvimento	14,60	158,17	62	26	12	0,71	1,65
	Médio	17,00	289,25	73	20	7	0,80	4,23
	Final	11,40	84,50	71	19	10	0,78	2,49
2º Ciclo	Inicial	1,80	53,08	67	21	12	0,75	0,05
	Desenvolvimento	31,40	197,17	71	19	10	0,81	1,89
	Médio	1,20	172,25	72	18	10	0,82	4,22
	Final	0,00	45,50	62	22	16	0,73	2,34
Área 2								
1º Ciclo	Inicial	11,20	65,13	58	30	12	0,66	0,01
	Desenvolvimento	14,60	86,45	59	27	14	0,68	1,16
	Médio	17,00	108,95	66	26	8	0,71	3,54
	Final	11,40	28,42	64	27	9	0,69	2,51
2º Ciclo	Inicial	1,80	87,63	72	15	13	0,87	0,18
	Desenvolvimento	31,40	142,11	76	13	11	0,87	1,48
	Médio	1,20	106,58	79	12	9	0,84	4,57
	Final	0,00	16,58	66	22	12	0,74	3,41

Estas reduções dos estágios fenológicos Médio para o Final dos valores do IAF e do LE/Rn ocorrem devido à senescência da cultura e a diminuição da lâmina de irrigação, pois ao final do ciclo, o manejo adotado na região preconiza diminuir a lâmina de irrigação para favorecer o amadurecimento do fruto e evitar rachaduras pelo excesso de água. Observe que os valores de LE/Rn durante o estágio Médio foram superiores a 70%, exceto durante o primeiro ciclo da Área 2. Este valor é ligeiramente superior aos valores encontrados em outros estudos em que foi utilizado o sistema de irrigação por gotejamento, como López-Olivari et al. (2016) com azeitona verde, no Vale Péncahue, região do Maule, Chile e Kool et al. (2016) em um vinhedo em uma região árida. No entanto, deve-se considerar que a cultura do melão fornece cobertura do solo superior a cultura da azeitona.

Neste estudo, o IAF do meloeiro atingiu valor médio de 2,0 e valor máximo de 4,5 (Tabela 4), enquanto López-Olivari et al. (2016) obteve o valor médio de 1,32 e Kool et al. (2016) encontrou valor máximo de 1,71. De acordo com Zhou et al. (2012), este comportamento semelhante entre LE/Rn e IAF é esperado porque um elevado IAF aumenta consideravelmente a transpiração, contribuindo então para valores mais elevados de LE/Rn e vice-versa.

Em contrapartida, os percentuais de Rn convertido em G (G/Rn) e H (H/Rn) variaram inversamente com o IAF e LE/Rn, ou seja, diminuíram dos estádios Inicial para o Médio e aumentaram dos estádios Médio para os Final. Esse comportamento é fisicamente esperado, uma vez que os valores dos fluxos de LE e H são controlados pela disponibilidade de água no solo (Shen et al., 2004). Já os valores de G são controlados tanto pela disponibilidade de água como pela cobertura do solo (Bezerra et al., 2015). Note que quando o IAF aumenta, os valores de G diminuem. Os valores inferiores de G ocorreram durante o estágio médio, quando  $IAF > 3$ .

Os valores de  $\Lambda$  refletem a condição da umidade na zona da raiz, de modo que há uma relação direta entre eles (Bezerra et al., 2013). É importante notar que LE/Rn para o estágio médio foi maior do que 70%, com exceção do primeiro ciclo da Área 2 que foi de 66%. Borges et al. (2015) estudando a necessidade hídrica da cultura do meloeiro em Mossoró- RN encontrou para o Estádio Médio valores de LE que corresponderam a praticamente toda energia disponível no período diurno, chegando a ultrapassar o saldo de radiação, e para o Estádio Final, encontrou valores de LE de 77 a 89% da energia disponível, valores acima dos encontrados neste estudo que variaram entre 71 a 62%. Hernandez-Ramirez et al. (2010) encontraram proporção de 86% entre LE e Rn durante o completo desenvolvimento de soja e milho, em trabalho realizado no meio-oeste dos Estados Unidos. Em plantio de crotalária, Teixeira et al. (2008) reportaram que, em média, 89% de Rn foi destinado a LE e 11% a H na fase de floração de mangueiras no semiárido Nordeste. Takagi

et al.(2009) em um estudo realizado nas terras áridas de Tottori no Japão, registraram partição de 80% da energia disponível ( $R_n - G$ ) para evapotranspiração, e apenas 20% para o fluxo de calor sensível.

Em cada estação de crescimento o  $R_n$  convertido em  $G$  apresentou semelhanças suficientes para garantir a representatividade das suas medições. Fazendo-se uma média geral dos valores de  $G/R_n$  observados nos dois ciclos experimentais de cada área, encontramos um percentual de 11%. Borges et al. (2015), estudando a cultura do meloeiro, relatou que o fluxo de calor no solo começou com participação de 20% de  $R_n$  no estágio inicial da cultura, caindo para menos de 10% durante o crescimento dos frutos.

As Figuras 2.3 e 2.4 mostram o comportamento diário dos componentes do balanço de energia da cultura do meloeiro durante as fases de crescimento. O valor máximo de  $R_n$  e  $LE$  para a Área 1 (Figura 2.3) ocorre entre 11h20 e 12h20, para o primeiro ciclo, e entre 11h00 e 12h00, hora local, para o segundo ciclo. Já na Área 2 (Figura 2.4) o valor máximo de  $R_n$  e  $LE$  ocorre entre 11h40 e 12h40, no primeiro ciclo e entre 11h00 e 12h20 no segundo ciclo, hora local. Este é um comportamento esperado, pois estes fluxos seguem o curso de radiação solar diurna. Esta similaridade entre os cursos diários desses fluxos tem sido usado por muitos autores para desenvolver modelos para estimar  $R_n$  a partir da radiação solar.

Os valores máximos de  $G$  ocorreram entre 10h00 e 13h00, hora local, em 2012 (Figuras 2.3 e 2.4). Os valores de pico de  $G$  variaram em comparação com os outros componentes, podendo ser explicado pela irrigação, pois apesar da irrigação ser realizada sempre na parte da manhã o horário poderia variar, sendo efetivada às vezes no início, meio ou no final da manhã. A influência da irrigação em  $G$  tem sido relatada na literatura (Abu-Hamdeh & Reeder, 2000; Bezerra et al., 2015). Como os eventos de irrigação ocorriam pela manhã, o teor de água no solo, neste período, foi sempre mais elevado do que à tarde. De acordo com Abu-Hamdeh & Reeder (2000) aumentando o teor de água no solo aumenta a condutividade térmica e, conseqüentemente, aumenta a taxa de  $G$ . Por volta das 12h30, hora

local, o teor de água no solo diminuiu por causa da evaporação do solo resultando em um declínio nos valores do fluxo de G.

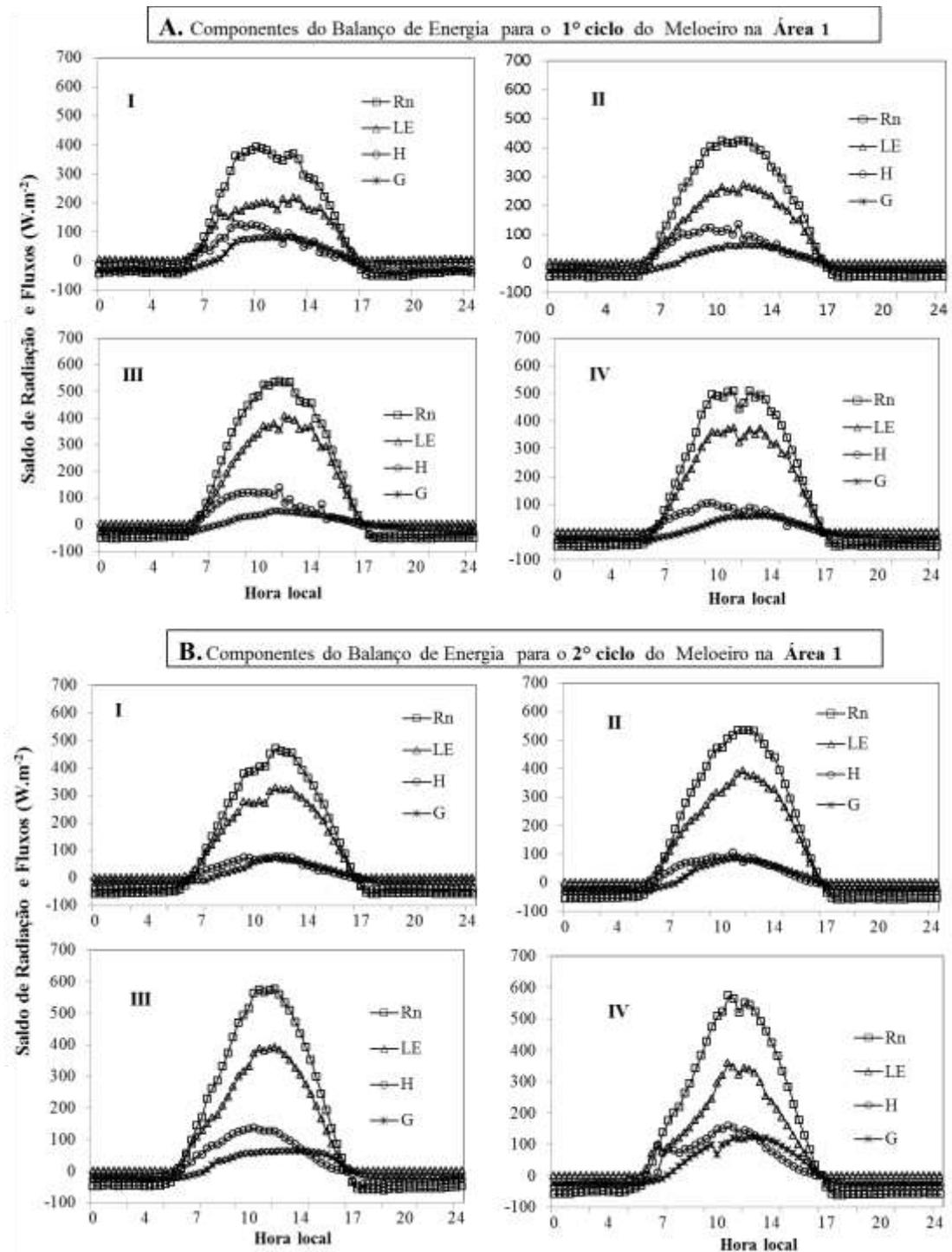


Figura 2.3. Variação média diária dos componentes do balanço de energia determinados pelo método BERB no primeiro (A) e segundo (B) ciclo, na Área 1, distribuídos nos estádios fenológicos da cultura do meloeiro: I, estágio inicial; II, estágio de crescimento vegetativo; III, estágio de frutificação (médio); IV, estágio final, em Mossoró – RN, 2012

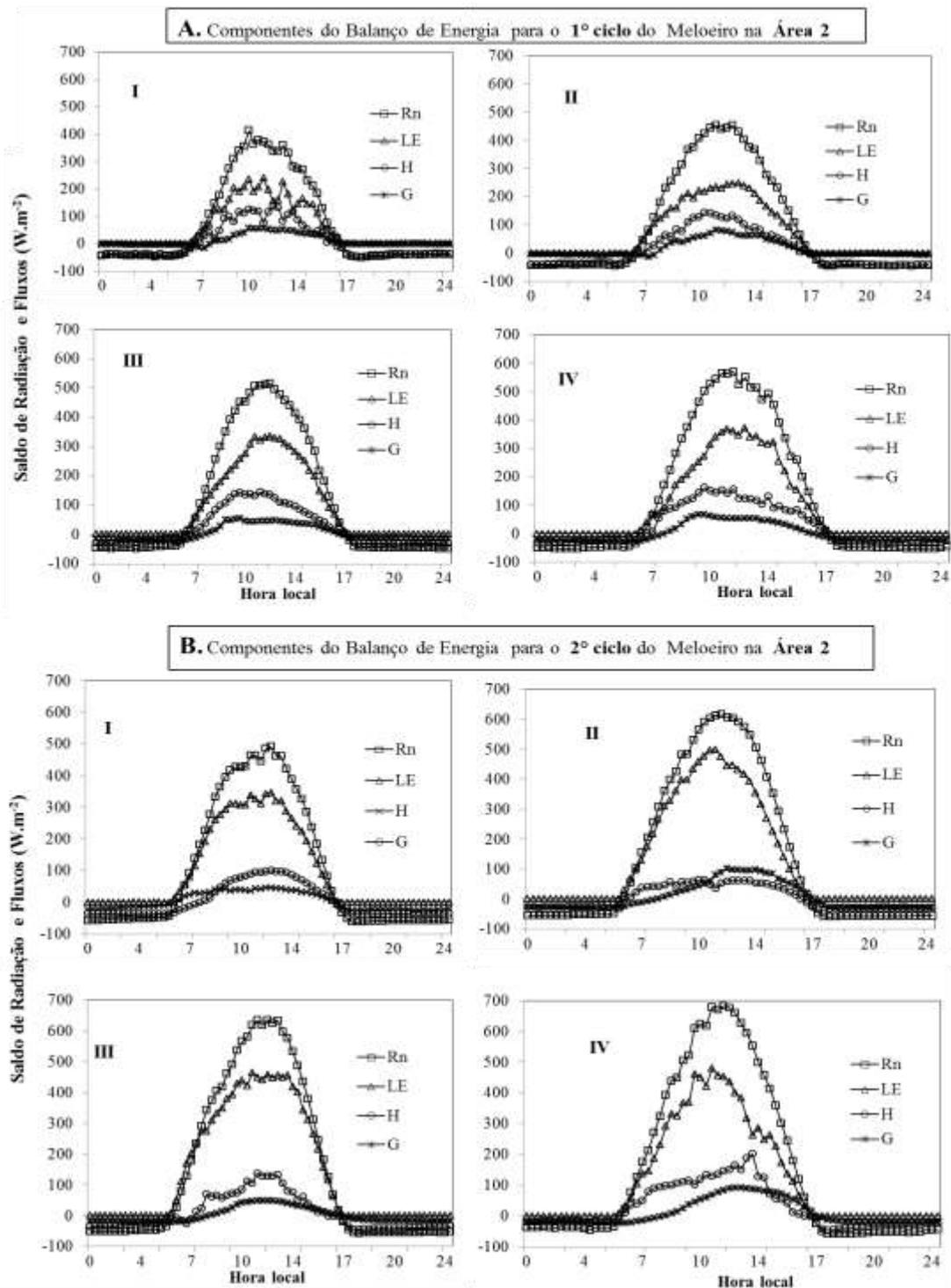


Figura 2.4. Variação média diária dos componentes do balanço de energia determinados pelo método BERB no primeiro (A) e segundo (B) ciclo, na Área 2, distribuídos nos estádios fenológicos da cultura do meloeiro: I, estágio inicial; II, estágio de crescimento vegetativo; III, estágio de frutificação (médio); IV, estágio final, em Mossoró – RN, 2012

## 2.4. CONCLUSÕES

Da análise dos componentes do balanço de energia em um cultivo de melão irrigado na região de Mossoró-RN foi possível chegar as seguintes conclusões:

1. Os valores de LE/Rn foram superiores a 60%, G/Rn foi em média 11% e a média H/Rn foi de 21%.
2. Os resultados revelaram importante papel do crescimento vegetativo da cultura do meloeiro no particionamento do balanço de energia.
3. Os valores de LE/Rn variaram de acordo com as variações do IAF, enquanto H/Rn e G/Rn variam inversamente com IAF.

## LITERATURA CITADA

- Abu-Hamdeh, N. H.; & Reeder, R. C. Soil thermal conductivity: effects of density, moisture, salt concentration, and organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, v.64, p.1285-1290, 2000.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. 1.ed. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. *Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. 1.ed. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Howell, T. A.; Jensen, M. E. *Evapotranspiration information reporting: I. Factors governing measurement accuracy*. *Agricultural Water Management*, v.98, p.899-920, 2011.
- Bezerra, B. G.; Silva, B. B.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Santos, C. A. C. *Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigation cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil*. *Agricultural Water Management*, v.107, p.86-93, 2012.
- Bezerra, B.G.; Santos, C.A.C.; Silva, B.B.; Perez-Marin, A.M.; Bezerra, M.V.C.; Bezerra, J.R.C.; Rao, T.V.R. *Estimation of Soil Moisture in the Root-Zone from Remote Sensing Data*. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.596-603. 2013.
- Bezerra. G. B.; Bezerra, J. R. C.; SILVA, B. B.; SANTOS, C. A. C. *Surface energy Exchange and evapotranspiration from cotton crop under full irrigation conditions in the Rio Grande do Norte State, Brazilian Semi-Arid*. *Bragantia*, v.74, p.120-128. 2015.
- Borges, V.P.; Silva, B.B.; Espínola Sobrinho, J.; Ferreira, R.C.; Oliveira, A.D.; Medeiros, J.F. *Energy balance and evapotranspiration of melon grown plastic mulch in the Brazilian semiarid region*. *Scientia Agricola*, v.72, p.385-392, 2015.
- Bowen, I.S. *The ratio of heatlosses by conduction and by evaporation from any water surface*. *Physical Review*, v. 27, p.779–787, 1926.
- Cavalcante Junior, E. G.; Medeiros, J. F.; Melo, T. K.; Espinola Sobrinho, J.; Bristot, G.; Almeida, B. M.; *Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi*. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.261–267, 2013.
- Hernandez-Hamirez, G.; Hatfield, J. L.; Prueger, J. H.; Sauer, T. J. *Energy balance and turbulent flux partitioning in a corn-soybean rotation in the Midwestern US*. *Theoretical and Applied Meteorology*, v.100, p.79-92, 2010.
- Kool, D., Kustas, W.P., Ben-Gal, A., Lazarovitch, N., Heitman, J.L., Sauer, T.J., Agam, N. *Energy and evapotranspiration partitioning in a desert vineyard*. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.218-219, p.277-287, 2016.

- López-Olivari, R.; Ortega-Farías, S.; Poblete-Echeverría, C. Partitioning of net radiation and evapotranspiration over a superintensive drip-irrigated olive orchard. *Irrigation Science*, v.34, p.17-31, 2016.
- Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Pereira, F. A. L.; Souza, R. O.; Souza, P. A. Produção e qualidade de melão cantaloupe cultivado com água de diferentes níveis de salinidade. *Revista Caatinga*, v.24, n.1, p.92-98, 2011.
- Medeiros, D. C.; Medeiros, J. F.; Barbosa, M. A. G.; Queiroga, R. C. F.; Oliveira, F. A.; Freitas, W. E. S. Crescimento do melão Pele de Sapo, em níveis de salinidade e estagio de desenvolvimento da planta. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.16, n.6, p.647-654, 2012.
- Payero, J. O.; Neale, C. M. U.; Wright, J. L.; Allen, R. G. Guidelines for Validating Bowen Ratio Data. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, v.46, p.1051-1060, 2003.
- Pereira, A. R.; Nova, N. A. V.; Sedyama, G. C. *Evapotranspiração*. 2. ed. Piracicaba: FUNDAG/USP, 2013, v. 1, 323p.
- Perez, P. J.; Castellvi, F.; Ibañez, M.; Rosell, J. I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p.141-150, 1999.
- Qi, Z., Li, J.; Raza, M.A.; Zou, X.; Cao, L.; Rao, L.; Chen, L. Inheritance of fruit cracking resistance of melon (*Cucumismelo L.*) fitting E-0 genetic model using major gene plus polygene inheritance analysis. *Science Horticulturae*, v.189, p.168-174, 2015.
- Shen, Y.; Zhang, Y.; Kondoh, A.; Tang, C.; Chen, J.; Xias, J.; Sakllra, Y.; Liu, C.; Sun, H. Seasonal variation of energy partitioning in irrigated lands. *Hydrological Processes*, v.18, p.2223-2234, 2004.
- Suyker, A. E.; Verma, S. B. Inter annual water vapor and energy exchange in an irrigated maize-based agroecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.417-427, 2008.
- Takagi, K.; Kimura, R.; Saylan, L. Variability of surface characteristics and energy flux patterns of sun hemp (*Crotalaria juncea L.*) under well-watered conditions. *Theoretical and Applied Meteorology*, v.96, p.261-273, 2009.
- Teixeira, A. H. C.; Bastiaansen, W. G. M.; Moura, M. S. B.; Soares, J. M.; Ahmad, M. D., Bos, M. G. Energy and water balance measurements for water productivity analysis in irrigated mango trees, Northeast Brazil. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.14, p.1524-1537, 2008.
- Thornthwaite, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, p.55-94, 1948.
- Yuan, W.; Liu, S.; Yu, G.; Bennefond, J-M.; Chen, J.; Davis, K.; Desai, A.R.; Goldstein, A.I.; Gianelle, D.; Rossi, F.; Suyker, A.; Verma, S.B. Global estimates of evapotranspiration and gross primary production based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing of Environment*, v.134, p.1416-1431, 2010.

Zeggaf, A. T., Takeuchi, S., Dehghaniasanij, H., Anyoji, H., Yano, T. A Bowen ratio technique for partitioning energy fluxes between maize transpiration and soil surface evaporation. *Agronomy Journal*, v.100, p.988–996, 2008.

Zhang, B.; Kang, S.; Li, F.; Zhang, L. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of north west China. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.148, p.1629-1640, 2008.

Zhou, S.; Wang, J.; Liu, J.; Yang, J.; Xu, Y.; Li, J. Evapotranspiration of a drip-irrigated film-mulched cotton field in northern Xinjiang, China. *Hydrological Processes*, v.26, p.1169-1178, 2012.

### CAPÍTULO 3

#### EVAPOTRANSPIRAÇÃO E COEFICIENTE DE CULTURA PARA O MELOEIRO IRRIGADO NA REGIÃO DE MOSSORÓ/RN

**Resumo:** A irrigação, no nordeste brasileiro, apresenta-se como uma saída para superar a escassez de água e permitir ganhos na produção das culturas. As estimativas da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) contribuem minimizando o desperdício através do manejo eficiente de irrigação. A pesquisa teve como objetivo determinar a necessidade hídrica do meloeiro (*Cucumis melo L.*) irrigado no semiárido do Rio Grande do Norte, utilizando o método do Balanço de Energia com base na razão de Bowen (BERB) para definir os valores de ET<sub>c</sub> e a curva do Coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>). O estudo foi realizado na zona rural do município de Mossoró/RN, durante o ano de 2012. A ET<sub>c</sub> foi estimada a partir do fluxo de calor latente (LE), obtido através do método BERB. Os quatros estágios de desenvolvimento da cultura foram identificados para a construção das curvas do K<sub>c</sub>. Indicadores de desempenho do método foram aplicados. A ET<sub>c</sub> para todo o ciclo da cultura do meloeiro, considerando as duas áreas, variou de 264,79 mm a 362,19 mm. Os coeficientes de cultivo gerados pelo método BERB variaram, para o estágio inicial de 0,27 a 0,32; para o estágio médio de 0,84 a 0,89 e para o estágio final de 0,56 a 0,66.

**Palavras-chave:** *Cucumis melo*L, razão de Bowen, necessidade hídrica

**EVAPOTRANSPIRATION AND CROP COEFFICIENT FOR IRRIGATED MELON  
CROP IN THE REGION OF MOSSORÓ / RN**

**Abstract:** Irrigation, in northeastern Brazil, is presented as a way to overcome the shortage of water and allow gains in crop production. The crop evapotranspiration estimates (ETc) contribute minimizing waste through efficient irrigation management. The research aimed to determine the water requirement of melon (*Cucumis melo* L.) irrigated in the Rio Grande do Norte semiarid, using the Energy Balance method based on the Bowen ratio (BERB) to set the ETc values and curve culture coefficient (Kc). The study was conducted in rural municipality of Mossoró / RN, during the year 2012. The ETc was estimated from the latent heat flux (LE), obtained by BERB method. The four stages of crop development have been identified for the construction of Kc curves. Performance indicators of the method were applied. The ETc throughout the melon crop cycle, considering the two areas ranged from 264.79 mm to 362.19 mm. Cultivation coefficients generated by the method BERB varied, for the initial stage of 0.27 0.32; to the middle stage of the 0.89 and 0.84 for the final stage of 0.56 0.66.

**Keywords:** *Cucumis melo* L., Bowen ratio, water requirement

### 3.1. INTRODUÇÃO

O Nordeste brasileiro é responsável por mais de 95% da produção de frutos de melão (*Cucumis melo* L.) do país, sendo os Estados do Rio Grande do Norte e do Ceará os principais produtores, contribuindo com 87,7 do percentual regional (IBGE, 2013). De acordo com Sousa et al. (2012), o melão está entre as dez principais frutas exportadas, alcançando mais de 1,8 milhões de toneladas por ano. O Rio Grande do Norte, sobretudo a região do agropolo Assu-Mossoró-Baraúna, tem se destacado como principal região produtora de melões do país devido às condições edafoclimáticas e disponibilidade de água superficial e subterrânea (Gurgel et al., 2008).

Em contrapartida, a região convive com características climáticas bem peculiares, onde quadros de estiagem são frequentes, uma vez que o período chuvoso se restringe ao primeiro semestre do ano. De acordo com Cavalcante Junior et al. (2013) o déficit hídrico na região pode chegar a até 800 mm ano<sup>-1</sup>, tornando a irrigação peça fundamental para a produção agrícola. A principal fonte de água para irrigação no referido agropolo é subterrânea, e sua captação é feita em poços que variam de 100 m a 1.000 m de profundidade.

Em atividades em que a água é um recurso natural determinante, como é o caso da agricultura irrigada, a estimativa da evapotranspiração (ET) é de fundamental importância. Existem muitas técnicas disponíveis para estimativas da ET no campo.

Entre as metodologias utilizadas destacam-se aquelas baseadas na conservação de energia por meio da determinação do fluxo de calor latente e sensível, tais como os métodos micrometeorológicos da Razão de Bowen e correlações de vórtices turbulentos (Holland et al., 2013; Uddin et al., 2013; Mauder et al., 2013; Kool et al., 2014), a técnica com sensoriamento remoto (Anderson et al., 2012; Paul et al., 2014), a conservação de massa por lisimetria (López-urrea et al., 2012; Zhang et al., 2013) e o método Penam-Monteith modificado para plantas isoladas (Whitehead & Beadle, 2004; Gentil, 2010). Contudo, para

obter medidas precisas de ET, é necessário utilizar sistemas com boa calibração e manutenção e, em muitos casos, buscar conhecimento dos fenômenos físicos que governam o método de medida.

O método micrometeorológico do balanço de energia pela razão de Bowen (BERB) tem sido bastante utilizado para estimar a ET a partir de diferentes sistemas de solo-vegetação e diferentes condições climáticas (Steduto & Hsiao, 1998; Todd et al., 2000; Azevedo et al., 2003; Teixeira et al., 2007; Zeggaf et al., 2008; Savage et al., 2009; Hou et al., 2010; Bezerra et al., 2010a). Em alguns estudos, a ET<sub>c</sub> obtida de acordo com o BERB tem sido usada para determinar o coeficiente de cultura (K<sub>c</sub>) (Hou et al., 2010; Bezerra et al., 2010a). A aplicação geral deste método é atribuída à sua relativa simplicidade, praticidade, robustez e precisão (Todd et al., 2000; Silva et al., 2007). O BERB requer além das medições dos gradientes de temperatura do ar e de pressão de vapor de água, medidas de saldo de radiação e fluxo de calor no solo a fim de obter o fluxo de calor latente e, conseqüentemente, a ET<sub>c</sub>.

Com base no exposto e, considerando, a importância da cultura do melão nos planos socioeconômicos do país, o aumento da competitividade pelo uso da água e a necessidade de informações sobre a eficiência do uso da água para a cultura do melão na região semiárida do nordeste brasileiro, o presente estudo teve como objetivo determinar a necessidade hídrica para a cultura do meloeiro irrigado no semiárido do Rio Grande do Norte, utilizando o método do balanço de energia com base na razão de Bowen para definir os valores de ET<sub>c</sub> e a curva do K<sub>c</sub>.

## **3.2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.2.1. Características da área experimental**

O estudo foi realizado na zona rural do município de Mossoró localizado no estado do Rio Grande do Norte, nordeste do Brasil, em duas propriedades agrícolas, produtoras de melão para exportação, durante dois ciclos consecutivos no ano de 2012. As fazendas e suas respectivas coordenadas da sede são: Dinamarca (4°54'28"S; 37°24'06"W; 17 m) e Norfruit (4°54'10"S; 37°22'01"O; 36 m), que serão mencionadas neste estudo como área 1 e área 2, respectivamente.

O clima da região, de acordo com Thornthwaite (1948), é Semiárido, megatérmico com déficit hídrico durante o ano. A precipitação média anual é de 673,9 mm, dos quais cerca de 550 mm ocorrem no período de fevereiro a maio. A umidade relativa média anual de 68,9%, enquanto que a temperatura média anual é 27,7 °C, variando de 27,2 °C em Junho a 28,4 °C em Fevereiro.

### **3.2.2. Práticas de cultivo e irrigação**

A cultura foi semeada em casa de vegetação e aos 10 dias após a semeadura (DAS) foi feito o transplântio das mudas para o campo, cujo solo era protegido com mulch plástico. Na ocasião do transplântio foram colocadas as mantas agrotêxteis de polipropileno (TNT) na cor branca sobre as fileiras, procedimento este que tem por objetivo minimizar a incidência de pragas e doenças. As características das parcelas onde foi instalado o experimento são descritas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Descrição das parcelas avaliadas nas duas áreas estudadas e nos dois ciclos do meloeiro: área, variedade cultivada, espaçamento, datas de plantio, colocação e retirada da manta e início da colheita, em Mossoró-RN, 2012

Área	Ciclo	Área (ha)	Variedade	Espaçamento entre plantas (m)	Plantio	Colocação da manta	Retirada da manta	Início da Colheita
1	1°	3,0	Amarelo (Goldex)	0,3 x 2,0	08/06	18/06	07/07	24/08
	2°	2,5	Amarelo (Iracema)	0,3 x 2,0	31/08	10/09	01/10	10/11
2	1°	2,8	Amarelo (Iracema)	0,4 x 1,9	08/06	19/06	09/07	16/08
	2°	2,8	Gália	0,4 x 1,9	27/08	06/09	24/09	29/10

O método de irrigação adotado foi o de gotejamento. A irrigação seguiu o manejo adotado em cada fazenda e os totais de irrigação na Área 1 foram de 583,9 mm (7,4 mm d<sup>-1</sup>) e 468,0 mm (7,3 mm d<sup>-1</sup>), para os dois ciclos consecutivos do meloeiro. Já na Área 2 os totais de irrigação foram de 293,7 mm (4,6 mm d<sup>-1</sup>) e 352,9 mm (5,8 mm d<sup>-1</sup>) para o primeiro e segundo ciclo do meloeiro, respectivamente.

A divisão do ciclo vegetativo do meloeiro foi feita em quatro estádios com base na metodologia proposta pela FAO-56 (Allen et al., 1998), quais sejam: inicial (transplântio até a cultura propiciar 10% de cobertura do solo); crescimento vegetativo (Fim da fase inicial até o início da floração); Médio ou frutificação (início da floração até o início da maturação dos frutos) e final (início da maturação até a colheita).

### 3.2.3. Evapotranspiração da cultura (ETc)

Para determinação da ETc, foram instaladas duas torres meteorológicas, uma em cada área. Os dados micrometeorológicos foram coletados em duas épocas na safra de 2012: a primeira compreendendo o período de 18 de junho a 05 de setembro e a segunda de 06 de setembro a 13 de novembro, de 2012, considerando as duas áreas estudadas nos dois ciclos. A ETc diária do melão foi estimada, a partir do fluxo de calor latente (LE), que foi obtido

através do método do Balanço de Energia pela Razão de Bowen (BERB) (Perez et al., 1999; Azevedo et al., 2003; Silva et al., 2007; Hou et al., 2010) a partir da seguinte equação:

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (3.1)$$

Onde  $Rn$  é a radiação líquida ( $Wm^{-2}$ ),  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $Wm^{-2}$ ) e  $\beta$  é a razão de Bowen. De acordo com o método proposto por Perez et al. (1999), para calcular o fluxo de calor latente, para o período do dia, com a energia disponível positiva ( $Rn - G > 0$ ),  $\beta$  foi calculado a partir da seguinte equação:

$$\beta = \frac{H}{LE} = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (3.2)$$

Em que: “ $\Delta T$ ” ou  $(T_1 - T_2)$  é a diferença de temperatura ( $^{\circ}C$ ) em dois níveis; “ $\Delta e$ ” ou  $(e_1 - e_2)$  é a diferença de pressão parcial de vapor de água (kPa), em dois níveis; “ $\gamma$ ” é o coeficiente psicrométrico ( $kPa \ ^{\circ}C^{-1}$ ).

Os referidos gradientes foram obtidos através das medidas das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido em dois níveis acima do dossel vegetativo através de psicrômetros constituídos de termopares tipo T (cobre/constantan).

Para medir o saldo de radiação, foi instalado um saldo-radiômetro a 2,50 m de altura. O fluxo de calor no solo foi determinado por duas placas enterradas a 0,02 m, uma sob o mulch na linha de plantio e outra nas entrelinhas. Os fluxos verticais de temperatura e vapor d'água foram determinados a partir da medição das temperaturas de bulbo úmido e seco com termo junções de cobre-constantan em psicrômetros. Os psicrômetros foram instalados a 0,5 m ( $z_1$ ) e 2,0 m ( $z_2$ ) acima do dossel vegetal. Todos os dados foram armazenados em um sistema de aquisição de dados (CR3000 e CR10X) da Campbell Scientific, Logan, EUA.

### 3.2.4. Evapotranspiração de referência – ETo

A evapotranspiração de referência (ETo) foi obtida pelo método de Penman-Monteith (Allen et al., 1998, 2006), com base em dados coletados na estação meteorológica do INMET-Instituto Nacional de Meteorologia, localizada na Área 2, pela equação:

$$ET_o = \frac{0.408(Rn-G) + \gamma(900/(T+273))u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.034u_2)} \quad (3.3)$$

Onde Rn é a radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), G é o fluxo de calor do solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ), T é a temperatura média diária do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  é a velocidade média do vento diariamente para 2 m de altura ( $\text{ms}^{-1}$ ),  $e_s$  é a pressão de vapor de saturação (kPa),  $e_a$  é a pressão de vapor real (kPa);  $e_s - e_a$  é o déficit de pressão vapor (kPa),  $\Delta$  é a inclinação da curva de pressão de vapor ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ) e  $\gamma$  é a constante de psicrométrica ( $\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

### 3.2.5. Coeficiente de cultivo (Kc)

Para determinar os valores das curvas de Kc, os quatro estágios de desenvolvimento da cultura foram identificados com base nas observações de campo e no IAF, de acordo com a metodologia proposta pela FAO-56 (Allen et al., 1998). A curva do Kc foi construída com o conhecimento da duração de cada uma das fases de crescimento e com os valores de Kc para a fase inicial ( $K_{c\text{-inicial}}$ ), média ( $K_{c\text{-médio}}$ ) e final ( $K_{c\text{-final}}$ ). O Kc para cada estágio foi calculado pela seguinte equação, definida como  $K_{c\text{local}}$ :

$$K_{c\text{local}} = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (3.4)$$

Os resultados obtidos a partir dos dados experimentais foram comparados com os correspondentes valores do Boletim FAO-56, ajustado às condições locais ( $K_{c\text{FAO}}$ ) (Allen et

al., 1998). E a partir do produto entre o  $K_{C_{FAO}}$  e a  $ET_0$  foi estimado a  $ET_{FAO}$  para posterior comparação com a  $ET_{BERB}$ .

### 3.2.6. Indicadores de desempenho

Indicadores de desempenho foram aplicados para comparar os valores obtidos da  $ET_c$  com o método BERB e os valores obtidos pelo método proposto pela FAO-56. Os seguintes indicadores foram utilizados: coeficiente de determinação da regressão linear, ( $R^2$ ); razão média, (RM) (Eq. 3.5); raiz quadrada do quadrado médio do erro, (RQME) (Eq. 3.6) e índice de concordância de Wilmott, ( $d_w$ ) (Eq. 3.7) (Legates & McCabe Jr., 1999).

$$RM = \frac{ET_{C_{BERB}}}{ET_{C_{FAO}}} \quad (3.5)$$

$$RQME = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{C_{BERB}i} - ET_{C_{FAO}i})^2}{n} \right]^{0.5} \quad (3.6)$$

Em que  $n$  é o número de observações.

$$d_w = 1 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (ET_{C_{BERB}i} - ET_{C_{FAO}i})^2}{\sum_{i=1}^n (|ET_{C_{BERB}i} - \overline{ET_{C_{FAO}}}| + |ET_{C_{FAO}i} - \overline{ET_{C_{FAO}}}|^2)} \right] \quad (3.7)$$

Em que  $ET_{C_{FAO}}$  é a média dos valores da evapotranspiração do meloeiro determinada segundo o método da FAO.

Os indicadores RM e RQME possuem as mesmas unidades das variáveis, neste caso mm, sendo o RQME um parâmetro não-estatístico sem limite superior de valor. Valores de  $R^2$ ,  $d_w$  e RM em torno de 1 e valores de RQME tendendo a zero indicam boa concordância entre os métodos.

### 3.2.7. Índice de área foliar (IAF)

O IAF foi medido semanalmente a partir dos 10 dias após o transplante (DAT) até o final da estação de crescimento. A área da foliar foi medida utilizando um Integrador de Área Foliar (Licor modelo 3100) e pelo método dos discos foliares, que consistiu na retirada de discos em folhas aleatórias, com auxílio de um vazador com área de 2,01 cm<sup>2</sup>. Através de uma regra de três foi determinada a área foliar:

$$AF = \frac{AD * MSF * ND}{MSD} \quad (3.8)$$

Onde AD é a área do disco (cm<sup>2</sup>), MSF é a massa seca de folhas (g), ND é o número de discos e MSD é a massa seca de discos (g).

A determinação da fitomassa fresca de folhas e discos foi realizada no momento da coleta das plantas através da pesagem individual. Posteriormente foram separados em sacos de papel individualizados, identificados e levados à estufa de secagem de ventilação forçada de ar a 65°C até peso constante para a determinação da fitomassa seca.

### 3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1. Evapotranspiração da cultura

A Tabela abaixo apresenta as datas dos eventos que marcaram as mudanças dos estádios fisiológicos da cultura, bem como a duração dos mesmos. Não houve muita variação na duração dos ciclos vegetativos, com exceção do primeiro ciclo da Área 1 onde, devido a uma infestação de pragas e/ou doenças, os estádios médio e final se prolongaram e, conseqüentemente, a duração do ciclo da cultura foi maior.

Tabela 3.2. Duração dos estádios de desenvolvimento do meloeiro cultivado nas duas áreas e nos dois ciclos estudados, em Mossoró-RN, 2012

	Estádios	1º Ciclo		2º Ciclo	
		Período	Duração	Período	Duração
Area 1	Inicial	18/jun a 02/jul	14 dias	10/set a 24/set	14 dias
	Desenvolvimento	03/jul a 24/jul	22 dias	25/set a 19/out	25 dias
	Médio	25/jul a 23/ago	30 dias	20/out a 06/nov	18 dias
	Final	24/ago a 05/set	13 dias	07/nov a 13/nov	7 dias
	Estágio completo	18/jun a 05/set	79 dias	10/set a 13/nov	64 dias
Area 2	Inicial	19/jun a 30/jun	11 dias	06/set a 19/set	13 dias
	Desenvolvimento	20/jun a 22/jul	22 dias	20/set a 12/out	23 dias
	Médio	23/jul a 15/ago	24 dias	13/out a 29/out	17 dias
	Final	16/ago a 22/ago	7 dias	30/out a 05/nov	7 dias
	Estádio completo	19/jun a 22/ago	64 dias	06/set a 05/nov	60 dias

Os valores médios mensais das variáveis meteorológicas e da precipitação total mensal observada durante a estação de cultivo de melão em ambos os ciclos são apresentados na Tabela 3.3. Podemos observar que, durante 1º ciclo Tar variou de 26,69 a 26,99 °C, enquanto durante o 2º ciclo Tar variou de 26,95 a 27,25 °C. Este aumento da Tar durante 2º ciclo em relação ao primeiro ciclo foi devido ao efeito radioativo, porque a radiação solar

média mensal durante 2º ciclo foi de quase  $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  maior do que no primeiro ciclo (Tabela 3.3). Este aumento ocorreu porque durante a transição entre os dois ciclos consecutivos ocorreu o equinócio da primavera no Hemisfério Sul e, conseqüentemente, o hemisfério sul fica mais quente.

Tabela 3.3. Médias mensais da Radiação solar (Rad.), Temperatura mensal do ar (Tar), umidade relativa (UR), velocidade do vento a 2 m ( $u_2$ ), déficit de pressão de vapor (DPV), evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>), e precipitação mensal (P) observada durante a estação de crescimento do melão em Mossoró, 2012

Meses	Rad. ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ )	T <sub>ar</sub> (°C)	UR (%)	$u_2$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	DPV (kPa)	ET <sub>0</sub> ( $\text{mm d}^{-1}$ )	P (mm)
Jun-2012	20,81	26,69	69,08	3,12	1,66	5,74	0,20
Jul-2012	22,62	26,94	63,59	3,58	1,84	6,53	27,20
Ago-2012	22,58	26,99	58,85	3,86	2,10	7,19	26,80
Set-2012	22,60	26,95	60,95	4,43	1,96	7,44	12,20
Out-2012	22,65	27,25	63,24	4,78	1,88	7,53	24,20
Nov-2012	23,08	27,20	65,95	4,51	1,61	6,93	0,20

O aumento da Tar tem efeito direto na determinação do comprimento da estação de crescimento. Note-se que durante o 2º ciclo a média da Tar foi quase  $0,5 \text{ °C}$  mais quente do que no 1º ciclo. Conseqüentemente o 2º ciclo foi menor que o 1º em ambas as áreas estudadas (Tabela 3.2). Na Área 2 o 2º ciclo foi de 4 dias mais curto que o 1º ciclo, enquanto na Área 1 o 2º ciclo foi de 15 dias mais curto do 1º ciclo (Tabela 3.2), porém a diferença de 15 dias na Área 1 entre o primeiro e segundo ciclos foi também intensificada pela infestação de pragas e doenças já citada no parágrafo acima. O efeito da temperatura do ar no comprimento da estação de crescimento das culturas é bastante discutido na literatura (Bezerra et al., 2012; 2015).

Ainda de acordo com a Tabela 3.3 observamos que a demanda de água na atmosfera durante o segundo ciclo foi maior do que durante o primeiro ciclo pois a ET<sub>0</sub> foi quase um milímetro mais elevada. Verificamos também, que a velocidade do vento, durante o segundo ciclo foi maior do que durante o primeiro ciclo.

Analisando e comparando as médias de alguns parâmetros do tempo verifica-se que durante o segundo ciclo a demanda atmosférica por água foi maior do que no primeiro ciclo, como mostra a Tabela 3.3. A diferença da demanda de água na atmosfera entre os ciclos do meloeiro pode estar associada aos diferentes períodos de plantio (ver Tabela 3.2).

As durações das estações de crescimento da cultura do meloeiro em Mossoró/RN, no período estudado, foram apresentadas nas Tabelas 3.2. A determinação do comprimento da estação de crescimento é baseada na observação de campo e na cobertura do solo de acordo com a metodologia FAO-56 (Allen et al., 1998). O IAF é um indicador importante de cobertura do solo, pois tem sido observada alta correlação entre IAF e cobertura do solo pela planta (Juan et al., 2011). Os valores médios e a alteração temporal do IAF, observados durante cada estágio de desenvolvimento, são apresentados na Tabela 3.4. Os valores de IAF >3 durante o estágio médio de desenvolvimento indicam uma completa cobertura do solo fornecida pela cultura, de acordo com Allen et al.(1998).

Tabela 3.4. Índice de área foliar (IAF) para cada estágio fenológico da cultura do meloeiro, nas duas áreas estudadas em Mossoró-RN, 2012

Ciclos	Estádios	IAF (cm <sup>2</sup> cm <sup>-2</sup> )	
		Área 1	Área 2
1º ciclo	I	0,01	0,01
	II	1,65	1,16
	III	4,23	3,54
	IV	2,49	2,51
2º ciclo	I	0,05	0,18
	II	1,89	1,48
	III	4,22	4,57
	IV	2,34	3,41

Na tabela 3.5 podemos observar os valores médios diários da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), evapotranspiração do meloeiro (ET<sub>C(BERB)</sub> e ET<sub>C(FAO)</sub>) e lâmina de irrigação (I), todas em mm, para os estádios fenológicos do meloeiro, nos dois ciclos consecutivos das duas áreas. Analisando os dados da Área 1, podemos ver que, no estágio inicial a ET<sub>C(BERB)</sub> média foi de 1,80 e 2,30 mm, chegando ao máximo de 6,17 e 5,95 mm, no primeiro e segundo

ciclos, respectivamente. Os valores totais de lâmina evapotranspirada pela cultura foram 362,19 mm no primeiro ciclo e 289,46 mm no segundo. O valor superior no primeiro ciclo deve-se ao fato de que a duração da estação de crescimento nesse período foi superior a do segundo ciclo, com uma diferença de 15 dias. Esse incremento se deu exatamente na fase de máxima demanda hídrica (crescimento dos frutos) (Tabela 3.2), resultando em maiores valores totais da  $ET_{C(BERB)}$  e da  $ET_o$ , que também foi maior neste período, ou seja, 527,39 mm, enquanto que no período de cultivo do segundo ciclo, foram registrados 477,94 mm.

Tabela 3.5. Valores médios diários da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ), evapotranspiração do meloeiro ( $ET_{C(BERB)}$  e  $ET_{C(FAO)}$ ) e lâmina de irrigação (I), todas em mm, para os estádios fenológicos do meloeiro, nos dois ciclos consecutivos, em Mossoró-RN, 2012

	Estádio Fenológico	1º ciclo				2º ciclo			
		$ET_o$	$ET_{C(BERB)}$	$ET_{C(FAO)}$	I	$ET_o$	$ET_{C(BERB)}$	$ET_{C(FAO)}$	I
		mm d <sup>-1</sup>				mm d <sup>-1</sup>			
Área 1	I	5,86	1,80	0,94	3,00	7,19	2,30	1,27	3,54
	II	6,59	4,15	3,56	7,19	7,67	4,80	4,39	7,89
	III	7,00	6,17	6,68	9,64	7,14	5,95	6,72	9,57
	IV	7,42	4,80	4,88	6,50	7,13	4,01	4,81	6,50
	Total	527,39	362,19	354,38	583,92	477,94	289,46	283,38	468,00
Área 2	I	5,75	1,60	0,83	5,43	7,22	2,23	1,21	6,26
	II	6,56	3,77	3,43	3,93	7,74	4,67	4,42	6,18
	III	6,85	5,55	6,37	4,54	7,31	6,41	6,83	6,27
	IV	7,39	4,45	5,24	4,74	6,71	4,47	4,37	2,37
	Total	423,52	264,79	274,18	293,68	450,48	279,10	265,44	352,89

Observando os dados da Área 2, encontramos valores de  $ET_{C(BERB)}$  média, no estágio inicial, de 1,60 e 2,23 mm, chegando ao máximo de 5,55 e 6,41 mm no primeiro e segundo ciclos, respectivamente. Já os totais das lâminas evapotranspiradas pela cultura e estimadas pelo BERB foram de 264,79 mm no primeiro ciclo e 279,10 mm no segundo. O valor superior da  $ET_{C(BERB)}$  no segundo ciclo pode ser explicado devido ao maior valor da  $ET_o$  ter sido encontrada no segundo ciclo, ou seja, 450,48 mm, enquanto que no período de cultivo do primeiro ciclo, foram registrados 423,52 mm.

Os valores da ETc encontrados neste trabalho para todo o ciclo da cultura (264,79 a 362,19 mm) são semelhantes aos valores relatados por Borges et al. (2015) (273,31mm) e Sousa et al. (2000) (281mm). No entanto, a comparação destes valores com outros estudos é difícil porque os valores de ETc são influenciados por inúmeros fatores locais, como clima, características do solo, práticas culturais, manejo da água, duração da estação de crescimento, e responde fortemente com a magnitude da radiação solar recebida (Alberto et al, 2011; Bezerra et al., 2012).

Borges et al., (2015), observando a necessidade hídrica e produtividade de água do meloeiro irrigado, para a mesma região desse estudo, e utilizando a metodologia BERB, encontrou valores médios de ETc para o primeiro estágio de 1,18 e 1,94 mm, e máximos de 7,87 mm (53 DAS) e 7,05 mm (47 DAS). Com determinações lisimétricas com melão ‘Gold Mine’ cultivado sem *mulch* no Ceará, Miranda et al. (1999) encontraram valores médios de ETc no estágio inicial de 1,2 mm e máximo de até 6,8 mm no período de crescimento dos frutos (42 e 58 DAS).

Ainda na Tabela 3.5 observa-se que a quantidade de água aplicada (I) excedeu a  $ET_{BERB}$ , com exceção dos estágios III e IV, dos dois ciclos consecutivos, da Área 2. Ao fim do ciclo, o manejo adotado na região preconiza diminuir a lâmina de irrigação para favorecer o amadurecimento do fruto e evitar rachaduras pelo excesso de água. Durante todo ciclo na Área 1 foram aplicados 221,73 e 178,54 mm a mais de água do que o total evapotranspirado pela cultura segundo o método BERB no primeiro e segundo ciclos, respectivamente, ou seja, até 61% a mais de água, valor extremamente acentuado.

Já na Área 2 foram aplicados 28,89 e 73,79 mm a mais de água do que o total evapotranspirada pela cultura no primeiro e segundo ciclos, respectivamente, totalizando 11 e 26 % a mais de água aplicada. Tais valores são realmente acentuados quando extrapolados para toda a área plantada nas fazendas, o que ressalta ainda mais a importância de se estabelecer um manejo da irrigação adequado às condições de clima e solo da área de estudo.

Os valores diários de  $ET_{C(BERB)}$  e do IAF obtidos são mostrados na Figura 3.1. Os valores máximos diários de  $ET_{C(BERB)}$  foram de 6,74 e 6,24  $\text{mm d}^{-1}$  para os dois ciclos consecutivos na Área 1 (Figuras 3.1A e 3.1C), respectivamente, e de 6,24 e 7,09  $\text{mm d}^{-1}$  na Área 2 no primeiro e segundo ciclo (Figuras 3.1B e 3.1D), respectivamente. Esses valores diários da  $ET_{C(BERB)}$  corroboram com os resultados obtidos por Borges et al. (2015) na mesma região de Mossoró-RN. Melo et al. (2011) com o objetivo de determinar a evapotranspiração e a produção do melão Gália irrigado também em Mossoró-RN, encontraram valores de 6,47  $\text{mm d}^{-1}$ , enquanto Oliveira et al. (2010) relataram valores de 5,20  $\text{mm d}^{-1}$  no município de Juazeiro, região norte do estado da Bahia.

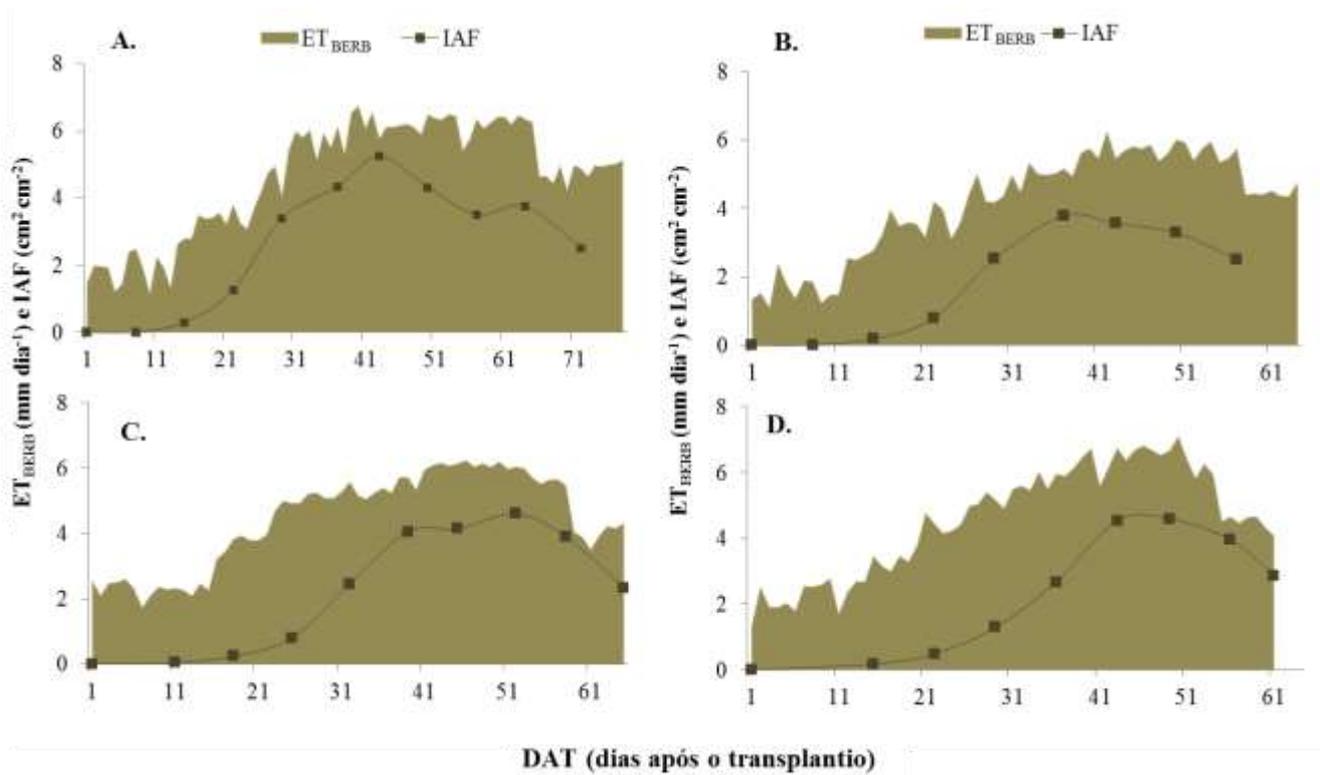


Figura 3.1. Variação sazonal da Evapotranspiração ( $ET_{C(BERB)}$ ) e do Índice de área foliar (IAF) observados no primeiro ciclo da Área 1 (A) e da Área 2 (B) e no segundo ciclo da Área 1 (C) e da Área 2 (D), em Mossoró/RN, 2012

Ambos os estudos foram realizados na região semiárida brasileira. As diferenças entre os valores máximos diários da  $ET_c$  apresentados no estudo atual e os valores

encontrados em outras áreas do semi-árido podem estar associadas a diversos fatores como por exemplo a elevada variabilidade espacial e de parâmetros climáticos (umidade relativa, velocidade do vento, e a temperatura do ar) da região.

Note-se que os valores diários da  $ETc_{(BERB)}$  variam consideravelmente. Os menores valores foram observados na fase inicial, o que pode ser explicado pelo pequeno IAF das plantas neste período, enquanto que os valores máximos ocorreram no estágio médio de desenvolvimento em ambas os ciclos das duas áreas, isto é, 40 e 46 DAT nos dois ciclos consecutivos da Área 1, e 42 e 50 DAT no primeiro e segundo ciclo da Área 2. Esse fato pode ser explicado pelo aumento do IAF das plantas, que, no estágio médio, cobriam quase totalmente a superfície do solo.

Peres et al. (2013), observou através de Lisímetros, que o consumo de água máximo do meloeiro para a região de Araras/SP variou de 4,60 a 3,28  $mm\ d^{-1}$ . Estes mesmos autores verificaram consumo de água mínimo variando de 0,76 a 0,71  $mm\ d^{-1}$ . Os valores máximos e mínimos de  $ETc$  encontrados neste trabalho são maiores que os observados por Peres et al. (2013). Esta diferença pode ser atribuída às diferenças nas condições climáticas das regiões estudadas.

No presente trabalho, em ambas as áreas, o ciclo da cultura variou de 79 a 60 dias. As condições climáticas da região contribuem para que a cultura se desenvolva mais rápido, bem como o uso do *mulch* (Morais et al., 2008), que também acelera a maturação dos frutos (Sampaio & Araújo, 2001). Tais adequações na duração dos estágios devem ser consideradas no esquema da irrigação para evitar aplicações indevidas. Mostrando a necessidade de determinar a  $ETc$  e seu respectivo  $Kc$  localmente, uma vez que o semiárido brasileiro é muito heterogeneo, com diferenças consideráveis entre os valores de umidade relativa, velocidade do vento e DPV.

Ainda na Figura 3.1 podemos observar que, desde o transplântio até cerca de 50 dias após (DAT) a  $ETc_{(BERB)}$  aumentou continuamente seus valores diários. Este aumento ocorreu

devido ao crescimento da cultura neste período, sendo evidenciado pelo IAF, que aumentou de  $0,01 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (9 DAT) para  $5,24 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (45 DAT) e de  $0,05 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (10 DAT) para  $4,61 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (50 DAT) no primeiro e segundo ciclo da Área 1 (Figuras 5A e 5C), respectivamente. Na Área 2 o IAF aumentou de  $0,01 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (8 DAT) para  $3,79 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (37 DAT) e de  $0,18 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (15 DAT) para  $4,60 \text{ cm}^2 \text{ cm}^{-2}$  (48 DAT) respectivamente, para o primeiro e segundo ciclo (Figuras 3.1B e 3.2D). Por volta dos 45 DAT até o final do ciclo da cultura o IAF e  $ETC_{(BERB)}$  diminuíram devido à senescência da cultura. Esta variação de  $ETC_{(BERB)}$  para cada estação de crescimento do meloeiro é comparável com a tendência descrita na FAO-56 (Allen et al., 1998).

Na Figura 3.2 são apresentadas as distribuições da  $ETC_{(BERB)}$  e da  $ETC_{(FAO)}$  para todo o ciclo da cultura. Em ambas as áreas observam-se uma concordância razoável das curvas dos dois métodos, sobretudo a partir dos 30 dias após o transplântio. As maiores divergências ocorreram na fase inicial da cultura e no período das plantas sob a manta, em que  $ETC_{(BERB)}$  foi superior a  $ETC_{(FAO)}$  em 90 e 80% nos dois ciclos consecutivos da Área 1 (Figuras 3.2A e 3.2B) e em 93 e 84% nos dois ciclos da Área 2 (Figuras 3.2C e 3.2D). Contudo, analisando todo período da cultura, registrou-se um bom ajuste entre dados estimados, encontrando uma diferença que variou de 2,1 a 4,9% entre a  $ETC_{(BERB)}$  e  $ETC_{(FAO)}$ .

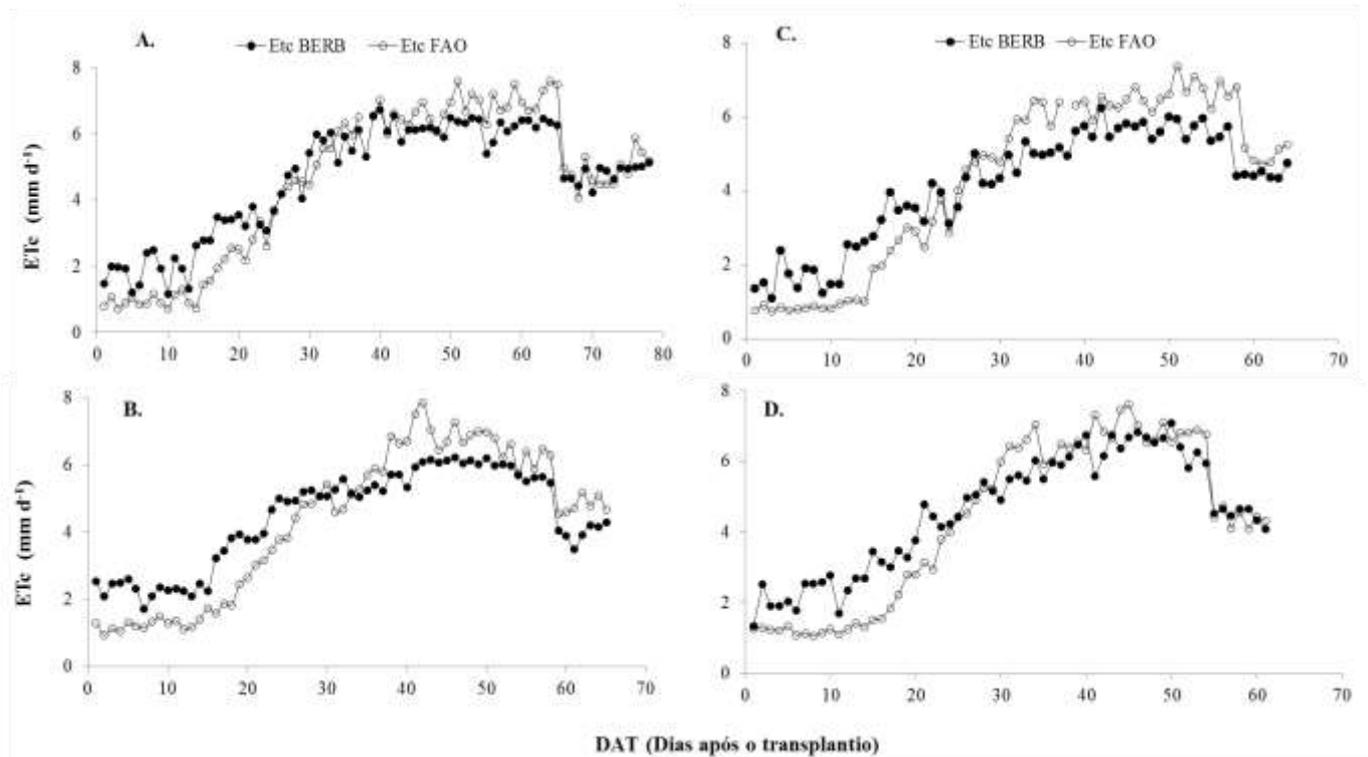


Figura 3.2. Evapotranspiração do meloeiro obtida com o Balanço de Energia pela Razão de Bowen ( $ET_{BERB}$ ) e pelo produto  $ET_o \times K_{cFAO} = ET_{FAO}$ , para o primeiro (A) e segundo (B) ciclos da Área 1 e primeiro (C) e segundo (D) ciclos da Área 2, em Mossoró – RN, 2012

Para o primeiro e segundo ciclo na Área 1, respectivamente, obteve-se RQME de 0,80 e 0,96 mm; dw de 0,96 e 0,93; e  $R^2$  de 0,89 e 0,92. Na Área 2 foram encontrados valores de RQME de 0,94 e 0,83 mm; dw de 0,93 e 0,98; e  $R^2$  de 0,94 e 0,95, respectivamente para o primeiro e segundo ciclo. Os valores de RQME tendendo a zero e valores de dw e  $R^2$  em torno de 1 indicaram boa concordância entre os métodos. A razão média, RM, mostrou que para todo ciclo da cultura houve superestimativa do método BERB de apenas 2% nos dois ciclos da Área 1. Já na Área 2 houve uma subestimativa de 3% no primeiro ciclo e uma superestimativa de 5% no segundo ciclo.

Resultados apresentados por Lovelli et al. (2005) revelaram subestimativas de 32% para a  $ET_{FAO}$  em comparação com dados de lisímetro em meloeiro cultivado com *mulch* plástico, para todo o ciclo da cultura. Borges et al. (2015) trabalhando com melão na mesma

região deste estudo, mostrou que para todo ciclo da cultura houve uma superestimativa do método BERB que variou entre 6 e 12%. Os resultados do presente trabalho mostram que as medidas tomadas para ajustar os coeficientes de cultivo do Manual 56 da FAO para Irrigação e Drenagem às condições de clima e manejo da área foram satisfatórias, considerando que a cobertura plástica proporcionaria 10% de redução no  $K_c$  total.

### 3.3.2. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ )

Em virtude da cobertura plástica (*mulch*) e do sistema de irrigação por gotejamento, perdas de água por evaporação são insignificantes e ocorrem somente pelo orifício de emergência das plântulas, e cessam poucos dias após a mesma. Desta forma, utilizou-se os valores de  $K_{c_{b\_FAO}}$  ( $K_c$  basal) indicados para a cultura do meloeiro. Os valores do  $K_{c\_FAO}$  e do  $K_{c\_local}$  para os estádios inicial, médio e final do meloeiro irrigado, no Semi-árido, são apresentados na Tabela 3.6 e na Figura 3.3.

Na tabela 3.6 observamos o  $K_{c_{b\_FAO}}$  e o  $K_{c\_Local}$ . Após os devidos ajustes, para as condições climáticas locais e de cultivo com *mulch* plástico, o  $K_{c_{b\_FAO}}$  inicial foi de 0,16 e 0,18 na Área 1 e de 0,15 e 0,17 na Área 2, no primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Para o estágio fenológico médio o valor foi o mesmo nos dois ciclos: 0,95 na Área 1 e 0,93 na Área 2. Para o estágio final o  $K_{c_{b\_FAO}}$  final foi de 0,69 e 0,67 para os dois ciclos consecutivos na Área 1 e na Área 2 foi de 0,67 e 0,65 para o primeiro e segundo ciclo, respectivamente. Os coeficientes de cultivo determinados com o método BERB para os estádios inicial, médio e final na Área 1 foram: 0,30, 0,89 e 0,65 no primeiro ciclo e de 0,32, 0,84 e 0,56 para o segundo ciclo; e na área 2: 0,27, 0,82 e 0,60 no primeiro e de 0,31, 0,88 e 0,66 no segundo ciclo.

Tabela 3.6.  $K_{cb-FAO}$  e  $K_{c-local}$  para a cultura do meloeiro em Mossoró/RN, 2012

KC		Área 1		Área 2		Médias
		1º ciclo	2º ciclo	1º ciclo	2º ciclo	
$K_{C-FAO}$	$K_{C-inicial-FAO}$	0,16	0,18	0,15	0,17	0,17
	$K_{C-médio-FAO}$	0,95	0,95	0,93	0,93	0,94
	$K_{C-final-FAO}$	0,69	0,67	0,67	0,65	0,67
	$K_{C-inicial-Local}$	0,30	0,32	0,27	0,31	0,30
$K_{C-Local}$	$K_{C-médio-Local}$	0,89	0,84	0,82	0,88	0,86
	$K_{C-final-Local}$	0,65	0,56	0,60	0,66	0,62

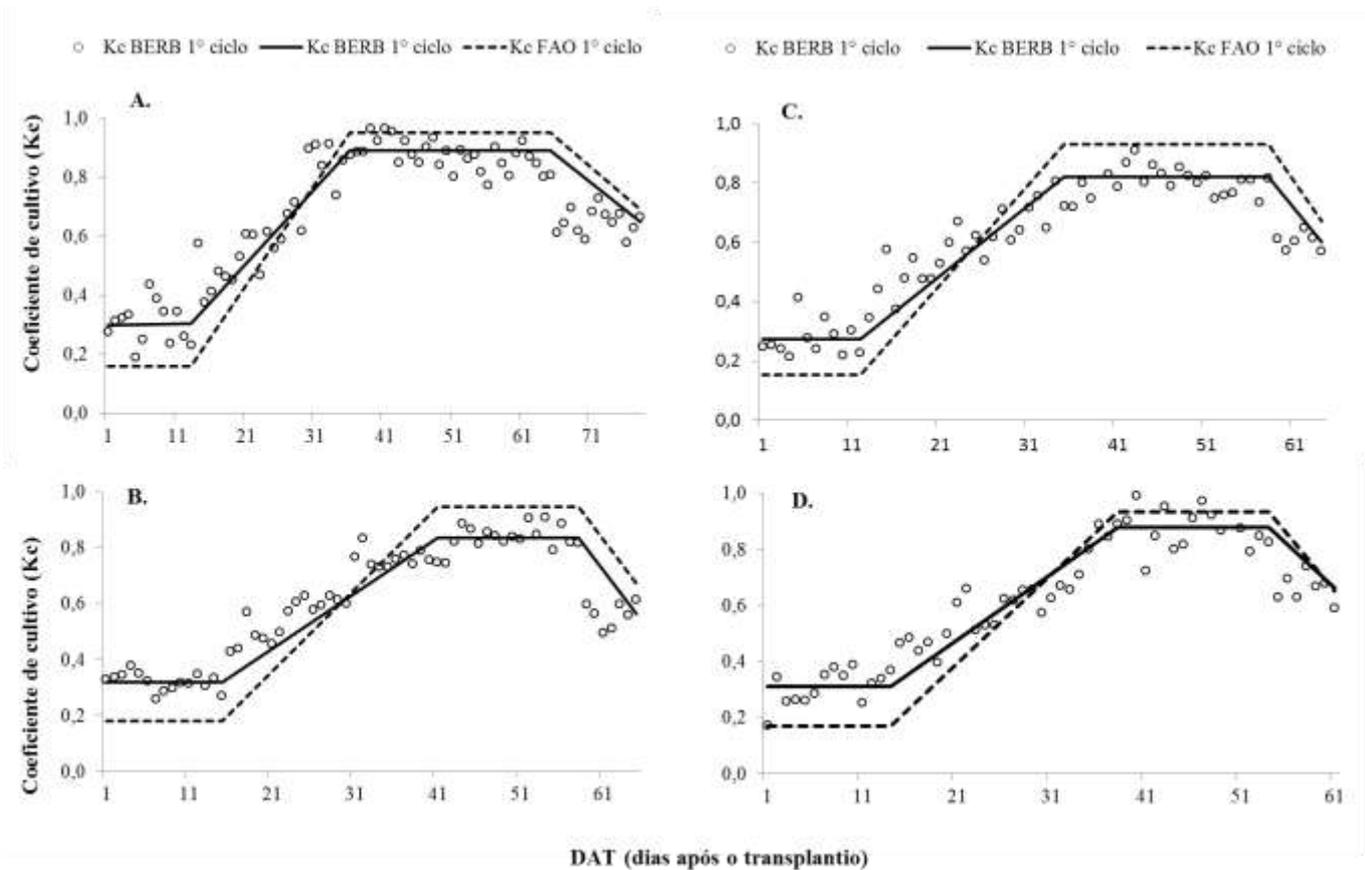


Figura 3.3. Coeficientes de cultivo gerados pelo método BERB (valores pontuais em círculos, valores médios para cada estágio em linha contínua) e curva dos coeficientes de cultivo estimados pelo método FAO para o primeiro (A) e segundo (B) ciclos da Área 1 e primeiro (C) e segundo (D) ciclos da Área 2, em Mossoró – RN, 2012

Caron & Heldwein (2000) estimaram os coeficientes de cultura do meloeiro cultivado em estufa plástica e obtiveram os seguintes valores para os coeficientes de cultura:

$K_{C_{Ini}}=0,34$ ;  $K_{C_{Int}}=0,70$  e  $K_{C_{Fin}}=0,76$ . Miranda et al. (1999), trabalhando em condições de campo no litoral cearense, obtiveram os valores a seguir para os coeficientes de cultura:  $K_{C_{Ini}}=0,21$ ;  $K_{C_{Int}}=1,21$  e  $K_{C_{Fin}}=0,98$ . Já Peres et al. (2013), em São Paulo, encontraram valores de  $K_c$  para o estágio inicial de 0,20; estágio intermediário de 1,10, e estágio final de 0,50.

Os valores de  $K_{C\text{-inicial-local}}$  foram superiores aos valores de  $K_{C\text{-inicial-FAO}}$  nos dois ciclos experimentais, com diferenças que variaram de 43 a 47%. Borges et al. (2015), comparando o  $K_c$  obtido pelo método BERB e o  $K_{C_{FAO}}$ , encontrou diferenças de até 44% no  $K_c$  inicial, resultado equivalente ao encontrado neste estudo. O valor médio de  $K_{C\text{-inicial-local}}$  de 0,30 é muito semelhante aos resultados obtidos por Bezerra et al. (2010b) para a região Nordeste do Brasil, mas é cerca de 40% mais elevado do que aqueles obtido por Peres et al. (2013) em São Paulo e Miranda et al. (1999) no estado do Ceará. Essas diferenças são atribuídas à sensibilidade do  $K_{C\text{-inicial}}$  ao manejo e sistemas de irrigação.

Analisando a Figura 3.3 e reforçando o que foi discutido no parágrafo anterior, diferenças acentuadas foram observadas no  $K_{C_{inicial}}$ , enquanto que, nas demais fases ( $K_{C_{médio}}$ ,  $K_{C_{final}}$ ), os valores sugeridos pela FAO divergiram bem menos dos encontrados na região de estudo. Lovelli et al. (2005) registraram bom ajuste do  $K_c$  obtido por lisímetro com o  $K_{C_{FAO}}$  inicial e diferenças no  $K_c$  do estágio médio, com valores entre 1,0 e 1,6, com o valor de  $K_{C_{FAO}}$  correspondente de 0,8. Miranda et al. (1999) e Bezerra et al. (2010b) reportaram para a fase inicial  $K_c$  em torno de 0,2, entretanto, para condições sem *mulch*. Considerando a redução de 10% no  $K_c$  com a cobertura do solo, ainda assim seriam inferiores ao encontrado no presente trabalho.

Os valores de  $K_{C\text{-médio-local}}$  foram menores que os valores de  $K_{C\text{-médio-FAO}}$  e variaram de 0,82 a 0,89 em ambos os ciclos estudados, apresentando diferenças em relação aos valores do  $K_{C\text{-médio-FAO}}$  que variaram entre 5 e 12%. O valor médio de  $K_{C\text{-médio-local}}$  obtido neste estudo foi menor que os encontrados por Borges et al. (2015), Peres et al. (2013) e Miranda et al. (1999).

Estas diferenças podem estar relacionadas com fatores do clima como maior insolação, baixa umidade, temperatura elevada, diferentes cultivares e manejo da irrigação.

Provavelmente, a razão para os valores mais baixos do  $K_{C\text{-médio-local}}$  quando em comparação com  $K_{C\text{-médio-FAO}}$  está relacionado com a possível superestimação da  $ET_o$  que ocorre em climas com estações do ano muito diferentes das regiões temperadas úmidas que serviram de base para calibrar o valor da resistência estomática ( $70 \text{ m s}^{-1}$ ), adotado na FAO-56. Apesar do método da FAO-56 ser recomendado para cálculos de  $ET_o$ , foi observado que ele é superestimado em climas semi-áridos (López-Urrea et al., 2006).

Os valores de  $K_{C\text{-final-local}}$  foram menores do que valores de  $K_{C\text{-final-FAO}}$ , cuja diferença variou entre 2 e 16%. O valor médio de  $K_{C\text{-final-local}}$  de 0,62 foi de cerca de 18% maior do que valores encontrados por Figueredo (2008) em Mossoró/RN. No entanto, Rodríguez & Souza (1998), em trabalho realizado no Estado do Piauí, observaram valores médios de  $K_c$  de 0,91 para o estágio final, ou seja, 31% maior que a média encontrada nesse trabalho.

Valores elevados da  $ET_{C(\text{BERB})}$  e  $K_{C\text{BERB}}$  para o estágio inicial da cultura podem estar associados ao aumento da temperatura do ar nas proximidades do psicrômetro inferior causado pelo *mulch*, que pelas suas características (cor e material) absorvem boa parte da radiação solar que nele incide, transferindo calor, conforme já reportado por Sampaio & Araújo (2001) e corroborado pelas altas temperaturas da superfície registradas na fase inicial da cultura.

O valor de  $\beta$  diminui com diferenças acentuadas de temperatura de bulbo úmido entre os dois níveis e, quanto menor  $\beta$ , maior o fluxo de calor latente. Desta forma, mesmo não havendo fluxo expressivo de vapor d'água na fase inicial, o modelo interpreta ao contrário, pelos motivos apresentados acima. A alta reflectância da manta de polipropileno também pode ter acarretado o mesmo problema, por aumentar a incidência de radiação sobre os psicrômetros, elevando a temperatura do ar no seu interior.

### 3.4. CONCLUSÕES

A metodologia do balanço de energia pela razão de Bowen (BERB) possibilitou a obtenção da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo compatíveis com a tradicional metodologia do Manual 56 da FAO. Entretanto, houve divergência entre os métodos na fase inicial da cultura, o que permitiu a  $ET_{C(BERB)}$  total ser de até 5% mais elevada que a  $ET_{C(FAO)}$ ;

A evapotranspiração determinada pelo BERB, para todo ciclo da cultura, nos dois ciclos da Área 1, foi superior aquela obtida nos dois ciclos da Área 2. A maior diferença ocorreu no primeiro ciclo, onde a  $ET_{C(BERB)}$  da Área 1 foi 27% superior que a  $ET_{C(BERB)}$  da Área 2, e essa diferença foi atribuída a duração da estação de crescimento que foi maior na Área 1.

A quantidade de água aplicada (I) excedeu a  $ET_{C(BERB)}$  nos quatro períodos estudados, comum excedente que variou de 11 a 61%. Tais valores são realmente acentuados quando extrapolados para toda a área plantada nas fazendas, o que ressalta ainda mais a importância de se estabelecer um manejo da irrigação adequado às condições de clima e solo da área de estudo.

Os resultados do  $K_{C\text{-inicial-local}}$  foram superiores, e os de  $K_{C\text{-médio-local}}$  e  $K_{C\text{-final-local}}$  inferiores, quando comparados aos valores do  $K_{C\text{FAO}}$  ajustados às condições locais e diferenças médias são observadas na ordem de 43, 8 e 7% para  $K_{C\text{-inicial}}$ ,  $K_{C\text{-médio}}$  e  $K_{C\text{-final}}$ , respectivamente.

Assim, recomenda-se cautela na utilização do método BERB, levando-se em consideração a fase inicial da cultura, e que mais estudos sejam realizados para se obter resultados mais confiáveis.

## LITERATURA CITADA

- Alberto, M. C. R.; Wassmann, R.; Hiranol, T.; Miyata, A.; Hetano, R.; Kumar, A.; Padre, A.; Amante, M. Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic Rice fields in the Philippines. *Agricultural Water Management*, v.98, p.1417-1430, 2011.
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 1.ed. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).
- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith. Evapotranspiration del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. 1.ed. Roma: FAO, 2006, 298p. (FAO, Estudio Riego e Drenaje Paper, 56).
- Anderson, M. C.; Allen, R. G.; Morse, A.; Kustas, W. P. Use of Landsat thermal imagery in monitoring evapotranspiration and managing water resources. *Remote Sensing Environmental*, v.122, p.50-65, 2012.
- Azevedo, P. V.; Silva B. B.; Silva, V. P. R.. Water requirements of irrigated mango orchards in Northeast Brazil. *Agricultural Water Management*, v.58, p.241-254, 2003.
- Azevedo, P.V.; Souza, C.B.; Silva, B.B.; Silva, V.P.R. Water requirements of pine apple crop grown in a tropical environment, Brazil. *Agricultural Water Management*, v.88, p.201–208, 2007.
- Bezerra, J.R.C.; Azevedo, P.V.; Silva, B.B.; Dias, J.M. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do algodoeiro BRS-200 Marrom irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.625–632, 2010a.
- Bezerra, A. H., Levien, S. L. A., Peixoto, T. D. C. Determinação de Kc de melão e melancia utilizando os softwares Single KcSIM E DualKcSIM. *Enciclopédia Biosfera*, v.6, p.1-9, 2010b.
- Bezerra, B. G.; Silva, B. B.; Bezerra, J. R. C.; Sofiatti, V.; Santos, C. A. C. Evapotranspiration and crop coefficient for sprinkler-irrigation cotton crop in Apodi Plateau semiarid lands of Brazil. *Agricultural Water Management*, v.107, p.86-93, 2012.
- Bezerra. G. B.; Bezerra, J. R. C.; SILVA, B. B.; SANTOS, C. A. C. Surface energy Exchange and evapotranspiration from cotton crop under full irrigation conditions in the Rio Grande do Norte State, Brazilian Semi-Arid. *Bragantia*, v.74, p.120-128. 2015.
- Borges, V.P.; Silva, B.B.; Espínola Sobrinho, J.; Ferreira, R.C.; Oliveira, A.D.; Medeiros, J.F. Energy balance and evapotranspiration of melon grown plastic mulch in the Brazilian semiarid region. *Scientia Agrícola*, v.72, p.385-392, 2015.
- Caron, B.O.; Heldwein, A. B. Consumo de água e coeficiente de cultura para o meloeiro cultivado em estufa plástica na primavera. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.8, p.19-25, 2000.

Cavalcante Junior, E. G.; Medeiros, J. F.; Melo, T. K.; Espinola Sobrinho, J.; Bristot, G.; Almeida, B. M.; Necessidade hídrica da cultura do girassol irrigado na chapada do Apodi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.17, p.261–267, 2013.

Figueredo, B. V. Evapotranspiração, crescimento e produção da melancia e melão irrigados com águas de diferentes salinidades. Botucatu: UNESP, 2008. 105p. Tese Doutorado.

Gentil, M. S. Transpiração eficiência do uso da água em árvores clonais de Eucalyptus aos 4 anos em áreas com e sem irrigação em Eunápolis, Bahia. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2010. 71p. Dissertação Mestrado.

Gurgel, M. T.; Gheyi, H. R.; Oliveira, F. H.; Fernandes, P. D.; Silva, F. V. Nutrição de cultivares de meloeiro irrigadas com águas de baixa e alta salinidade. *Revista Caatinga*, v. 21, p. 36-43, 2008.

Holland, S.; Heitman, J. L.; Howar, A.; Sauter, T. J.; Giese, W.; Ben-Gal, A.; Agam, N.; Kool, D.; Havlin, J. Micro-Bowen ration system for measuring evapotranspiration in a vineyard interrow. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.177, p.93-100, 2013.

Hou, L.G.; Xiao, H.L.; Si, J.H.; Zhou, M.X.; Yang, Y.G. Evapotranspiration and crop coefficient of *Populus euphratica* Olivi forest during the growin season in the extreme arid region northwest China. *Agricultural Water Management*, v.97, p.351–356, 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em:<<http://www.sidra.ibge.gov.br>> Acesso em: 03 maio de 2013.

Juan, W.; Changzhou, W.; Jinjiang, G.; Yongwen, L. A method based on digital image analysis for estimating crop canopy parameters. In: *Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM) e International Conference on (IEEE)*, 2011. p.338-341.

Kool, D.; Agam, N.; Lazarovitch, N.; Heitman, J. L.; Sauer, T. J.; Ben-Gal, A. A review of approaches for evapotranspiration partitioning. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.184, p.56-70, 2014.

Legates, D. R.; Mccabe Jr., G. J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, v.35, p.233-241, 1999.

López-Urrea, R.; Montoro, A.; Mãnas, F.; López-Fuster, P.; Fereres, E. Evapotranspiration and crop coefficients from lysimeter measurements of mature “Tempranillo” wine grapes. *Agricultural Water Management*, v.112, p.13-20, 2012.

López-Urrea, R.; Martín de Santa Olalla, F.; Fabeiro, C.; Moratalla, A. Testing evapotranspiration equations using lysimeter observations in a semiarid climate. *Agricultural Water Management*.v.85, p.15–26. 2006.

Lovelli, S.; Pizza, S.; Caponio, T.; Rivelli, A. R.; Perniola, M. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic *mulches*. *Agricultural Water Management*, v.72, p.147–159, 2005.

- Mauder, M.; Cuntz, M.; Drue, C.; Graf, A.; Rebmann, C.; Schmid, H. P.; Schmidt, M.; Steinbrecher, R. A strategy for quality and uncertainty assessment of long-term eddy-covariance measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 169, p. 122-135, 2013.
- Melo, T. K.; Medeiros, J. F.; Espínola Sobrinho, J. Figueiredo, V. B.; Pereira, V. C.; Campos, M. S. Evapotranspiração e produção do melão Gália irrigado com água de diferentes salinidades e adubação nitrogenada. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, v.15, p.1235–1242, 2011.
- Miranda, F. R.; Souza, F.; Ribeiro, R. S. F. Estimativa da evapotranspiração e do coeficiente de cultivo para o a cultura do melão plantado na região litorânea do Ceará. *Revista Engenharia Agrícola*, v.18, p.63-70, 1999.
- Morais, E. R. C.; Maia, C. E.; Negreiros, M. Z.; Araújo Junior, B. B.; Medeiros, J. F. Crescimento e produtividade do meloeiro Goldex influenciado pela cobertura do solo. *Scientia Agrícola*, v.9, p.129-137, 2008.
- Oliveira, G. M.; Leitão, M. M. V. B. R.; Almeida, A. C. Determinação da evapotranspiração e dos coeficientes de cultura para as diferentes fases de desenvolvimento do melão (*Cucumis melo L.*) na região norte da Bahia. *Revista Verde*, v.5, p. 142 – 151, 2010.
- Paul, G.; Gowda, P. H.; Prasad, P. V. V.; Howell, T. A.; Aiken, R. M.; Nealce, C. M. U. Investigating the influence of roughness length for heat transport (Zoh) on the performance of SEBAL in semi-arid irrigated and dryland agricultural systems. *Journal of Hydrology*, v.509, p.231-244, 2014.
- Peres, J. G.; Marcussi, L.; Souza, C. F.; Brugnaro C. Utilização de Lisímetros de Pesagem para a determinação dos coeficientes de cultura do meloeiro (*Cucumis melo L.*) para cultivo em estufa agrícola na região de Araras-SP. *Engenharia Agrícola*, v.33, p.475-487, 2013.
- Perez, P.J.; Castelvi, F.; Ibañez, M.; Rossel, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.97, p.141–150, 1999.
- Rodrigues, B.H.N., Souza, V.F. Determinação da evapotranspiração máxima (ET<sub>m</sub>) e coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para a cultura do melão nas condições dos tabuleiros costeiros do Piauí. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998, Minas Gerais. Anais... Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p.239-41.
- Sampaio, R. A.; Araújo, W. F. Importância da cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. *Agropecuária Técnica*, v.22, p.1-12, 2001.
- Savage, M. J.; Everson, C. S.; Metelerkamp, B. R. Bowen ratio evaporation measurement in a remote montane grassland: Data integrity and fluxes. *Journal of hydrology*, v.376, p.249-260, 2009.
- Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Silva, B. B. Surface energy fluxes and evapotranspiration of a mango orchard grown in a semiarid environment. *Agronomy Journal*, v.99, p.1391-1396, 2007.
- Sousa, V. F.; Coelho, E. F.; Andrade Junior, A. S.; Folegatti, M. V.; Frizzone, J. A. Eficiência do uso da água do meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, p.183-188, 2000.

- Sousa, M. A.; Andrade, J. W. S.; Silva, N. F.; Cunha, F. N.; Teixeira, M. B.; Gomes Filho, R. R. Análise econômica de dois híbridos de melão rendilhado, cultivados em ambiente protegido. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 6, p. 41-50, 2012.
- Steduto, P.; Hsiao, T.C. Maize canopies under two soil water regimes: IV. Validity of Bowen ratio–energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 89, p. 215-228, 1998.
- Teixeira, A. H.; Bastiaanssen, W. G. M., Bassol, L. H. Crop water parameter of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil. *Agricultural Water Management*, v.94, p.31–42, 2007.
- Thornthwaite, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, p.55-94, 1948.
- Todd, R.W., Evett, S.R., Howell, T.A. The Bowen ratio-energy balance method for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 103, p. 335-348, 2000.
- Uddin, J.; Hancock, N. H.; Smith, R. J.; Foley, J. P. Measurement of evapotranspiration during sprinkler irrigation using a precision energy budget (Bowen ratio, eddy covariance) methodology. *Agricultural Water Management*.v.116, p.89-100, 2013.
- Whitehead, D.; Beadle, C. L. Physiological regulation of productivity and water use in Eucalyptus: a review. *Forest Ecology and Management*, v.193, p.113-140, 2004.
- Zeggaf, A.T., Takeuchi, S., Dehghaniasanij, H., Anyoji, H., Yano, T. A Bowen ratio technique for partitioning energy fluxes between maize transpiration and soil surface evaporation. *Agronomy journal*, v. 100, p. 988-996, 2008.
- Zhang, C.; Yan, H.; Shi, H.; Sugimoto, H. Study of crop coefficient and the ratio of soil evaporation to evapotranspiration in an irrigated maize field in an arid area of Yellow River Basin in China. *Meteorology and Atmospheric Physics*, v.121, p.207-214, 2013.